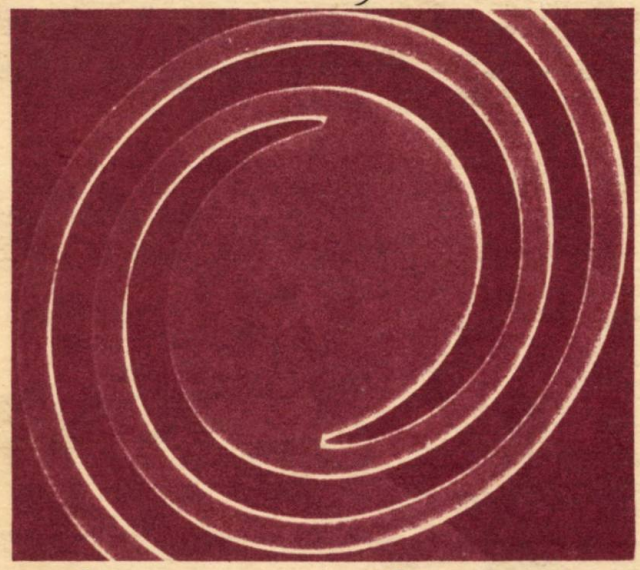
MIHAIL D. NICU

O aventură a științelor vieții



editura albatros

MIHAIL D. NICU

O AVENTURĂ A ȘTIINȚELOR VIEȚII — BIOTEHNOLOGIA

Coperta de
GH. MARINESCU

5
N 68

MIHAIL D. NICU

O aventură a științelor vieții - BIOTEHNOLOGIA

Referent științific
prof. univ. doc.
EDMOND NICOLAU

BIBLIOTECA
Nr. inv. 6802
Liceul

EDITURA ALBATROS ● BUCUREȘTI, 1984

Mihaelei și Gabrielei

PREFAȚĂ

Această carte se adresează unui larg cerc de cititori, mai ales tineri. Tineri ca vîrstă, dar și ca spirit și gîndire.

În mod firesc, orice lucrare care abordează un domeniu al interferențelor dintre științele vieții și produsele gîndirii creatoare a omului s-ar cuveni să înceapă cu un succint istoric al evoluției biologice pînă la om și al comentării drumului creativității umane pînă la tehnologia actuală și cea de mîine. Acest fapt s-a făcut însă în numeroase lucrări ce au apărut pînă în prezent și orice cititor aplecat spre lectura științifică își poate alcătui un tablou sinoptic asupra acestui aspect. Intenția noastră este de a urma un anumit itinerar în unele domenii ale geografiei cunoașterii acestui sfîrșit de mileniu, reamintind cititorului date din dialectica științei, prin prisma interesului său pentru domeniile multidisciplinare și, dacă vom reuși, prin prisma unui concept original.

Am pornit de la ideea că există două mari mecanisme care dinamizează corelația între lumea vie și lumea tehnologică.

În primul rînd, angrenajul genetic care dirijează evoluția biologică, sub influența unor factori exteriori, al doilea — creierul uman, care constituie un suport al inventivității, creator al unor sisteme noi, generatoare de civilizații tehnologice, ascendente necunoscute în lumea animală. Pe aceste căi științele care investighează dinamica

vieții și creează noi tehnologii se întîlnesc în preocupările biotehnologiei.

În această lucrare nu ne-am propus o tratare exhaustivă a multiplelor aspecte ale problematicii științelor vieții și ale reflectării lor în tehnologie. Nu ne propunem nici o istorie a științelor și a evoluției gîndirii creatoare, care ar solicita colaborarea competentă a numeroși specialiști. Nu dorim nici realizarea unei tratări filozofice sau a unor studii sociale, ci, pur și simplu, o întreprindere eseistică, o plimbare împreună cu cititorul în lumea ideilor științelor de graniță, o familiarizare cu aspectele multidisciplinare din preocupările științei actuale.

Prioritățile acordate tratării anumitor aspecte au fost justificate prin mai buna înțelegere a lor și prin dorința ca ele să constituie elemente de viitor în preocupările tinerilor care se vor dedica acestei cunoașteri, precum și din convingerea că ele fac parte dintre principalele probleme care își așteaptă rezolvarea.

Multitudinea informațiilor existente în domeniu ne-a creat unele dificultăți în selecționarea ideilor pe care le-am considerat necesare a fi prezentate în derularea subiectului de față. Se spune tot mai des că trăim o eră a intenselor prefaceri, o revoluție a ideilor, sub presiunea unei avalanșe informaționale. Dintr-un anumit moment al evoluției sîntem produsul ideilor noastre și este cert că de noi depinde dacă viitorul va cunoaște o continuare a perfecționării umane, cum va fi ea și unde va ajunge. Această idee-dezbatere a stat la baza celor ce urmează.

Sperăm să fi reușit în aceste pagini ca, pe lîngă o prezentare informațională consistentă, să demonstrăm ideea că nu tehnologia este dușmanul progresului — așa cum au susținut unii —, ci că omul înțelept și constructor — Homo faber — *este acela care trebuie să aibă decizia finală privind supraviețuirea planetei și a celor care o locuiesc.*

AUTORUL

ȘTIINȚELE VIEȚII LA GRANIȚA CU TEHNICA ȘI TEHNOLOGIA

De multe ori ne punem întrebarea ce legături pot exista între științele vieții și tehnologie? Ce apropiere poate fi imaginată între aceste două imense domenii ale cunoașterii umane?

Ne întrebăm poate și pentru că în ultimul deceniu au apărut din ce în ce mai hotărîte voci care contestă efectele benefice ale dezvoltării științei și tehnologiei asupra armoniei vieții umane, reluîndu-se o mai veche teamă a omului față de dezvoltarea „mașinismului", care în ritmul actual de dezvoltare și mai ales în viitor îi va greva calitatea existenței, teamă care acum îmbracă forme mai complexe, dacă facem numai o referire specială la industria militară.

Pe de altă parte, creierul uman evoluat a găsit și continuă să caute noi metode de armonizare între ceea ce unii consideră un pericol potențial sau real și nevoia de a trăi mai bine, mai intens, mai plăcut. Oare poate să răspundă creșterea nivelului cultural, al cunoașterii și al răspîndirii și receptării informației, întrebărilor pe care ni le punem în legătură cu variațiile dinamicii vieții cotidiene ale individului, populației, speciei? Credem că da.

Sistemul de norme și valori ale societății moderne industriale și postindustriale constituie un sistem intrinsec al culturii societății respective. Simpla dezvoltare industrială nu este echivalentă cu civilizația industrială. Conflictul valoric între mediul social și cel industrial trebuie să constituie un parametru căruia să i se acorde maximă atenție. Dinamicii industriei din orașe i s-a opus viziunea rustică a vieții „în natură". Istoricul și sociologul englez Arnold Joseph Toynbee descrie efectele industrializării asupra vieții ca pe „un efect distrugător, deoarece ea a

dezlănțuit impulsul lăcomiei". Dezvoltarea industriilor poate produce, după autorul englez, bogăție, dar nu cu bunăstare.

Deși nu putem fi de acord în totul cu acest punct de vedere, trebuie să remarcăm că *Homo industrialis* nu este o caracteristică naturală a omului contemporan, care nu poate fi cibernetizat și automatizat în măsura în care să aprecieze numai confortul oferit de civilizația industrială. În majoritate, contemporanii noștri poartă încă nostalgia vieții în natură, a necesității satisfacerii unor motivații spirituale legate de mediul ambiant pe care civilizația industrială le estompează.

De aici au pornit o serie de motivații conflictuale între dezvoltarea explozivă a societății urban-industriale și dorința de a regăsi modul de viață patriarhal al trăirii mai aproape de natură, care, în unele țări sau grupări umane, au creat o adevărată stare de spirit.

Modul de utilizare rațional al resurselor și deci ritmul de dezvoltare complexă al unei țări este caracterizat și de natura sentimentelor ce stau la baza acceptării procesului de creștere a sistemului ierarhizat de valori materiale și spirituale pe care le cunoaște și le acceptă populația în ansamblul dezvoltării sale sociale. Noile judecăți de valoare concură la modificarea imaginilor „consacrate" asupra valorilor acceptate la un moment dat.

Caracterul obiectiv al legăturilor istorice, bazate, în general, pe raționalism, este stimulat și îmbogățit prin contribuția implementării legilor naturale, prin care se postulează că natura umană nu s-a modificat substanțial în ceea ce privește nucleul său, care a rămas constant din toate timpurile și în virtutea căreia ființa umană a fost definită ca specie.

Pluralismul științific trebuie să corespundă și să ilustreze pluralismul categoriilor în care pot fi încadrate concepțiile creativității și realizărilor minții omenești în toate domeniile de activitate.

Polemica între diferite concepții trebuie înlocuită cu realități obținute printr-o colaborare logică a gîndirii umane, în toate domeniile umaniste și științifice. Natura filozofică și epistemologică a unui fenomen trebuie interpretată în cadrul unui demers propriu, pragmatic, dar avînd mereu în atenție experiența și obiectivitatea maximă ce

se poate atribui respectivului fenomen. Omul este o realitate concretă, o prezență esențială care nu poate fi înlocuit cu un sistem artificial de concepte, rezultate dintr-o gîndire speculativă.

Discernămîntul valoric — moral și material — trebuie să conducă la îndepărtarea aparențelor înșelătoare, în cadrul cărora indivizii care trăiesc, în mod firesc, într-o masă compactă, încearcă să se individualizeze în dorința de a-și manifesta voința proprie, amenințată de fenomenele anihilatorii ale automatizării etc.

Acestea constituie unele din cauzele pentru care, în prezentul impact între dezvoltarea impetuoasă a tehnicii și științei, o mare masă de oameni privesc în mod critic, exagerat, urmările pe care această creștere le-ar putea avea pentru destinul lor.

Deși în prezent întreaga lume participă la o largă mișcare a pluralității ideilor și asistăm la intelectualizarea mai tuturor domeniilor și chiar a preocupărilor care nu de mult aparțineau de domeniul practicii simple, întîlnim totuși în unele țări, cercuri, grupări, o rezistență crescută față de tehnocrație și încercările de a răspîndi larg în mase noile idei legate de progresele științei. Astăzi, orice demers profesional este mai cu seamă unul informațional, iar cuceririle științifico-tehnice nu pot fi concepute în afara caracteristicilor datelor acumulate, prelucrate și oferite istoriei viitoare a științei.

Inerția la adaptare se datorează și urmelor reacțiilor adverse dintre filozofia romantică a naturii și știința mecanicist-newtoniană, reacții ce s-au manifestat cu pregnanță în primele decenii ale secolului nostru. Conflictul între filozofie și științele pozitive a avut consecințe importante și constituie încă o motivație a reticenței existente în integrarea tehnologiei și științei în complexul științelor vieții.

Progresul științei rezultă din suita continuă de descoperiri cu o semnificație variată, fiecare bazîndu-se însă pe achiziții anterioare. Întîlnim unele perioade de stagnare relativă, alternate cu perioade de accelerare a descoperirilor și a informațiilor conducînd la reînnoirea unor vaste capitole științifice sau realizînd legături noi între diferitele ramuri științifice.

Această dinamică este diferită, în funcție de domeniul

științific, de aspectul teoretic sau experimental, de circumstanțele favorabile din acea perioadă, de interesele și temperamentele oamenilor de știință ș.a. Realizarea unei descoperiri presupune din partea celui care o face calități deosebite în ceea ce privește pregătirea profesională, spiritul de observație, metodologia de lucru, intuiția care-l conduc la elaborarea unor idei din care decurg rezultatele obținute. Calitățile intelectuale ale omului de știință trebuie să învingă rutina și prejudecățile prezente în acel moment în domeniul de care se ocupă.

Știința unei epoci este, de fapt, rezultatul eforturilor și aportului mai multor generații de cercetători, fie oameni de geniu, fie oameni pasionați pentru obținerea unor rezultate mai puțin spectaculoase, dar extrem de necesare marilor descoperiri. În obiectivele sale și în realizările obținute știința reflectă preocupările civilizației momentului. Descoperirile științifice prezintă aspecte epistemologice, psihologice, conjuncturale, deosebit de variate, care conduc la prospecțiuni viitoare în domenii de graniță, care tind să cuprindă într-o viziune unitară marile legi care guvernează natura, viața și descoperirile tehnologice.

Complexitatea interpretărilor descoperirilor existente la un moment dat fac dificilă cuprinderea cunoștințelor din creația științifică și conferă acesteia un scut de apărare față de marea masă a asediatorilor edificiului ei. Acest fapt constituie, credem, un alt motiv al circumspecției cu care este văzută știința din afară.

Creativitatea științifică conduce la invenții și descoperiri. Idei sau teorii inițiale, care prin cunoștințele anterioare nu pot fi explicate sau demonstrate capătă prin munca creativă a unor oameni de știință legături reale, idei directoare, investigări de noi modele, care pot elucida noi mecanisme, aparent fără legătură cu faptele și informațiile de la care se pleacă.

Între dificultățile practice și teorie, știința își modifică mereu frontierele referitoare la corelațiile pe care le-a stabilit pentru anumite fenomene, în timp. (Din acest motiv, matematica a avut și va avea o largă utilizare în știință și tehnică, mai ales dacă acceptăm și ideea potrivit căreia spiritul nostru sesizează mai clar relațiile existente între mărimi decît mărimile însele.) Matematica, ca instrument

de lucru, constituie astăzi o disciplină a rigorii, a materializării coerenței mintale, fără de care fundamentarea unor modele bazate pe logică ar fi practic imposibilă. Rigoarea matematică, opusă gîndirii laxe, face din creația științifică un domeniu adesea impenetrabil pentru modul de gîndire a masei largi a oamenilor și constituie astfel un alt impediment pentru abordarea corectă de către aceștia a domeniilor științelor exacte.

Să ne reamintim ce se înțelege prin termenii pe care-i utilizăm în comentariile noastre: viață, științele vieții, tehnologie etc.

Conform celor mai numeroase concepții viața reprezintă forma superioară de mișcare a materiei, care apare pe o anumită treaptă de dezvoltare a acesteia și care reprezintă o sinteză a proceselor biologice, fizice, chimice, mecanice, care au loc în organism. Viața este o stare a ceea ce este viu și este caracterizată prin ansamblul fenomenelor biologice (creștere, metabolism, reproducere) pe care le prezintă organismele animale sau vegetale, de la naștere pînă la moarte.

Dacă știința înseamnă cunoaștere, atunci științele vieții conțin informații, principii, cunoștințe despre procesele vieții.

Cuvîntul viață este definit, deci, ca o stare a unor entități organizate care se manifestă prin funcționarea organelor lor ce concură, prin metabolism (asimilația și dezasimilația), la dezvoltarea sau conservarea propriului organism.

Multiplele întrebări asupra apariției vieții, a cauzelor apariției și perpetuării sale, asupra rolului și semnificației ei în natură, nu pot fi elucidate cu siguranță și în totalitate, chiar în condițiile enormelor progrese ale științei contemporane. Încercarea de a răspunde face loc numeroaselor ipoteze, adică unor speculații teoretice, care încearcă să înscrie într-un cadru, mai mult sau mai puțin unitar, multitudinea de fapte și observații adunate.

Încercările în acest sens, ce au fost făcute în timp, ar putea fi grupate în patru categorii:

teoriile care explică viața prin principii *metafizice*. Astfel, cunoaștem animismul lui Aristotel și Platon, nișa formativă a lui Neehdam, forța vitală a filozofului francez Paul Joseph Barthez, neovitalismul lui Grasset;

teoriile *evoluționiste*, care susțineau că viața nu este decît dezvoltarea unor germeni conținuți unul în altul, de la apariția speciilor, astfel încît primele linii de indivizi ai fiecărei specii conțin toate informațiile pe care le necesită formarea produșilor, de la nașterea speciei pînă la dispariția sa;

teoriile *micromeriste*, care afirmă că viața rezultă din populațiile unor particule inițiale, speciale, elemente de început ale materiei vii;

teoriile *organiciste* caracterizează viața ca fiind rezultatul luptei, al jocului reciproc dintre elementele constitutive ale organismului: celule, țesuturi, fibre, organe care interacționează determinînd forma corpului, proprietățile și caracterele diferitelor părți constituente.

Unii exobiologi susțin că, de fapt, particulele elementare, organizate pentru a da naștere vieții, se găsesc în Cosmos și de acolo au fost aduse pe Pămînt, unde, găsind condiții prielnice au generat în oceanul planetar începuturile vieții. (Sînt și păreri fanteziste care atribuie actualei evoluții psihobiologice a omului intervenția din afară a unor civilizații mai înaintate, care au accelerat, în urmă cu cîteva mii de ani, prin intervenție directă, gradul de civilizație al planetei.)

Despre originile și evoluția vieții biochimistul sovietic Aleksandr Ivanovici Oparin și fiziologul și geneticianul englez John Burdon Sanderson Haldane, urmați de numeroși alții, au scris monografii impresionante, teoriile lor fiind cele acceptate de către majoritatea cercetătorilor.

De la apariția vieții a trecut un timp îndelungat pînă cînd a apărut omul, pînă cînd și-a consolidat poziția sa în cadrul evoluției, și-a dezvoltat gradul de cunoaștere și cultură. De cîteva mii de ani omul a început să creeze, să contureze domenii științifice și tehnice complexe.

În decursul dezvoltării științei au apărut numeroase domenii, ramuri de știință, specialități, care au diversificat direcțiile investigațiilor minții omenești în efortul și setea de cunoaștere, în satisfacerea curiozității mereu mai vii a gîndirii umane.

Printre numeroasele liste ale domeniilor cunoașterii și științei o redăm pe cea de mai jos (după Buletinul Academiei Franceze), care grupează disciplinele în două mari capitole: științele exacte și naturale și științele despre om.

Ştiinţele exacte şi naturale	Ştiinţele despre om	
— matematica şi modelarea matematică	— antropologia	— chimie organică biologică
— informatica, automatica, analiza sistemelor, tratamentul semnalelor	— medicina	— chimie terapeutică
— telecomunicaţiile	— ecologia	— fizico-chimia polimerilor şi moleculelor biologice
— electronica, electrotehnica	— agricultura	— biochimie
— microelectronica	— alimentaţia	— biologie celulară
— optica	— arheologia istorică şi preistorică	— biologia interacţiunilor celulare
— mecanica	— paleoantropologia	— ingineria genetică
— energetica	— arhitectură, urbanism	— patologia experimentală şi comparată
— fizica teoretică	— arte grafice, pictură	— terapeutică experimentală, farmacologie
— fizica nucleară şi corpusculară	— sculptură	— fiziologie
— fizica atomică şi moleculară	— cinema, foto, teatru, spectacol	— radiobiologie, radiogenetică şi radiotoxicologie
— astronomia	— dans, muzică	— psihofiziologie şi psihologie
— chimia coordinativă, structura şi dinamica moleculară	— drept	— biologia şi fiziologia vegetală
— fizico-chimia interacţiunilor şi interferenţelor	— economie	— biologia animală, etologia
— chimia şi fizico-chimia materialelor solide	— educaţie	— biotehnologia, biotehnica, bioingineria
— fizica solidelor	— etnologie	
— fizica atmosferei	— studii geozonale	
— cristalografia	— geografie, biogeografie	
— mineralogia	— istorie	
— geofizica şi geologia internă	— lingvistică	
— geologia sedimentelor şi paleontologia	— literatură	
	— filozofie	
	— politică	
	— psihologie	
	— sociologie	
	— informatică	
	— etnografie	
	— biocibernetică	
	— bionica	
	— sinteza organică şi reactivitate	

Simpla parcurgere a acestei liste ne atenționează asupra întrepătrunderii unor specialități, care constituie discipline și ramuri ce pot fi incluse în domenii mai complexe, dar care au căpătat o individualitate bine conturată prin importanța lor deosebită și marele volum al problematicii de care se ocupă. În rîndul altor ramuri, cum este de pildă medicina, profunzimea și numărul de descoperiri au condus la specializarea unor domenii care merg la dihotomizarea preocupărilor pînă la nivel de organe (cardiologie, neuropsihiatrie, oftalmologie, stomatologie, gastroenterologie, endocrinologie etc.) sau chiar de boli (oncologie, ftiziologie ș.a.).

Ce se înțelege prin tehnologie? După cele mai numeroase concepții *tehnologia* este o știință a metodelor și a mijloacelor de prelucrare, de fabricare a materialelor. Ea se constituie din ansamblul proceselor, metodelor, operațiilor, procedeelor utilizate etc. în scopul obținerii unui anumit produs. Cuvîntul provine din grecescul *techne*= =artă și *logos*=studiu; în franceză „technologia" este arta obținerii unui obiect necesar.

De la acest termen au apărut ceilalți termeni înrudiți: *tehnografia,* care se ocupă cu descrierea diferitelor specialități, meserii și a metodelor de lucru, *tehnolog,* care desemnează specialistul în tehnologie, precum și cuvintele *tehnicism,* care descrie tendința de a folosi în mod exagerat procedeele tehnice, într-un anumit domeniu de activitate, lăsînd pe plan secundar tezele teoretice, și *tehnocrația,* care ilustrează o orientare în socio-politologia occidentală contemporană și care postulează cadrul în care puterea să nu aparțină factorilor politici ci unor grupări de oameni de știință, tehnicieni și organizatori care formează intelectualitatea tehnocratică.

Tehnica este o materializare a științei deoarece, în forma de cercetare pură, fundamentală, știința nu poate avea aplicații concrete așa cum o cer industriile. Prin știință, oamenii vor să afle cît mai multe aspecte ale realității obiective, iar prin tehnică ei vor să intervină în scopuri practice în vederea umanizării mediului în care trăiesc. Știința devine astfel tehnică potențială, împreună căutînd să învingă rezistența naturii, a mediului ambiant.

Sociologul american Lewis Mumford spunea că „tehnologia, adică complexul instrumental destinat să comple-

teze echipamentul necesar vieții umane, este un fragment al biotehnologiei și constituie, în fond, un sistem de organe artificiale, iar tehnologiile constituie niște prescripții de acțiune eficientă, de reguli metodologice pentru realizarea și întreținerea acestor organe și sisteme artificiale. Tehnicile ca și tehnica sînt aplicații care depășesc sfera echipamentului tehnic, dirijînd comportamentul uman în acțiunea constructivă".

Tehnicile nu au avut inițial la bază știința, oamenii realizînd încă din timpuri străvechi diferite obiecte etc. folosind pentru aceasta observații acumulate, transmise oral. În prezent, tehnicile preiau elemente din știință și sînt consemnate de experiența comună, din experimente bine verificate.

În accepția modernă *tehnologia* apare ca un complex de metode teoretice, experimentale și proiective, în vederea estimării resurselor disponibile, a utilizării mijloacelor cele mai adecvate pentru realizarea unor obiective precise. Ea apare ca o ramură care caută să îmbine operațiile intelectuale cu cele producătoare avînd un caracter acțional, euristic, prospectiv.

Scientizarea tehnicii a condus la alcătuirea unui complex „cercetare-tehnologie-industrie", care necesită alocarea unor fonduri din ce în ce mai mari, ceea ce implică creșterea aparatului organizării, planificării, coordonării și valorificării cercetărilor științifice. În acest context este implicat mult învățămîntul. Schimbări de optică legate de acest proces au ca rezultat modificări ale priorităților previzibile pentru viitor, în vederea creșterii economice scontate.

Politica cercetării aplicate incumbă o reorganizare dinamică a tuturor aspectelor legate de dezvoltarea ramurilor interdisciplinare. Dezvoltarea unor cercetări nucleare, spațiale și militare, impulsionează ritmul de dezvoltare al unor industrii în mod necontrolat, cu efecte asupra calității vieții. În prezent se impune o orientare mai adecvată în raport cu adevăratele obiective sociale, care să echilibreze opțiunile, să controleze logic creșterea dimensiunilor unor domenii. Prioritatea în producția industrială trebuie transferată de la produsele de consum individual la cele publice, adică la cele privind echipamentele și serviciile care interesează colectivul, către nevoile sociale reale. Materia cenușie ar trebui utilizată și valorificată mai

intens în scopul unei „democrații științifice" depășind caracterul individual și depășind riscul birocratizării acestui important sector al activității umane.

Dezvoltarea învățămîntului, a serviciilor medico-sociale, reprezintă o investiție productivă, rentabilă, deoarece, pe lîngă faptul că omul instruit, educat și sănătos, produce mai mult, el este și un factor de decizie superior în dinamica progresului tehnic. Investiția în om apare ca una dintre condițiile cele mai necesare în orientarea optimă privind societatea de mîine, bazată pe participare, cooperare, creativitate, morală.

Factorul uman este supus, în funcție de modelul cultural și adaptativ, unor influențe avînd uneori efecte negative cum ar fi sentimentul de nerealizare, de dependență față de natură, instabilitatea convingerilor, scăderea autocontrolului, pasivitatea, incapacitatea de a învăța și de a se perfecționa și chiar resentimentul față de semeni. Înțelegerea redusă a realităților tocește simțul de răspundere și crește resemnarea în fața diferitelor situații, fapt care conduce la un decalaj continuu între om și adaptarea sa la explozia tehnico-informațională, omul marginalizîndu-se și devenind o problemă pentru societate.

Limitele de toleranță și adaptabilitate ale fizicului și psihicului uman constituie astfel una din principalele preocupări ale științei contemporane. Opiniile, în acest sens, oscilează între propunerea stopării progresului tehnic accelerat și efortul colectiv, organizat, pentru adaptarea rapidă la cerințele viitorului. Lipsa unor soluții eficiente poate determina manifestări negative.

Reconcilierea și rearmonizarea omului cu natura, cu mediul social și în același timp cu mediul tehnologic este direcția principală pe care trebuie îndreptate eforturile. Există o puternică tendință în cercuri largi ale unor sociologi contemporani spre renaturalizarea civilizației tehnologice către un consum armonic, logic, care ar asigura și o „stare de liniște socială". Este recomandată chiar o planificare macroeconomică și macrosocială în vederea unei reechilibrări a evoluției dinamice a societății în viitor. Progresul tehnic nu poate fi analizat decît în măsura realizărilor practice ale potențialelor sale social-culturale, al transformărilor raționale, obiective, a relațiilor interumane, a relațiilor între om și natură. Omul va putea fi astfel modelat numai în măsura în care politica tehnico-știin-

ţifică va promova necesitatea utilizării noilor cuceriri în folosul întregii umanităţi.

Dirijarea ştiinţei şi tehnicii spre o dezvoltare în care alternativele să fie cu competenţă alese constituie principala soluţie pentru rezolvarea problemei — dacă revoluţia ştiinţifică este benefică omului sau nu. Dezvoltarea alternativă a ştiinţei şi tehnicii în funcţie de exigenţele sociale şi umane constituie, de asemenea, un punct de vedere de care trebuie ţinut seama. Eliberarea de sub tutela economică a unor decizii de dezvoltare va contribui de asemenea la promovarea unei politici raţional-umaniste de dezvoltare a civilizaţiei. Progresul tehnic trebuie evaluat, în primul rînd, după efectele sale directe asupra intereselor omului. De aceea, interdisciplinaritatea este obligatorie, factorii culturali, sociali, epistemologici, fiind de o deosebită importanţă în luarea de decizii tehnico-economice privind dezvoltarea şi aplicarea cuceririlor tehnico-ştiinţifice cele mai noi, în folosul întregii societăţi. Corelarea mai bună între progresul tehnic şi progresul social este una din premizele civilizaţiei deceniilor ce urmează.

Asistăm la o competiţie între factorul uman şi cel tehnic, între progresul tehnico-ştiinţific şi libertatea omului, competiţie ce este departe de a fi rectilinie, deoarece rapiditatea transformărilor induse de cuceririle ştiinţifico-tehnice nu au lăsat timp suficient de adaptare la noua viaţă, a unei majorităţi a oamenilor. Progresul tehnic a modificat raportul omului cu natura, astăzi punîndu-se problema tehnicii în serviciul omului şi nu a omului în serviciul tehnicii.

Dezvoltarea ştiinţei este unul dintre principalii factori de progres social, conducînd la o intelectualizare crescîndă a muncii sociale, la o interdependenţă tot mai puternică între diferiţi factori de viaţă şi de muncă. Trebuie analizate şi înţelese mai bine condiţionările filozofice ale raţiunii şi libertăţii şi posibilitatea adaptării omului într-o ambianţă din ce în ce mai tehnicizată.

Este necesară o adaptare a mijloacelor tehnice astfel încît ele să folosească în primul rînd pentru perfecţionarea calităţii vieţii, pentru progresul cultural, pentru adaptarea oamenilor la noua formă determinată de civilizaţia tehnică.

Actul de creaţie tehnologică are un marcat profil interdisciplinar, bazîndu-se pe contribuţiile mai multor şti-

Nr. inv. 68024
Liceul Gheorghe Lazăr

înțe și discipline înrudite, interconexate. Astfel, interdisciplinaritatea și pluridisciplinaritatea constituie, în știința contemporană, un lanț care structurează și ordonează un proces tehnologic și biologic încă de la constituirea sa ca problemă. În acest mod se realizează trecerea de la studiul unor obiecte la studiul unor obiective, experiența metodologică transferîndu-se în aria pluridisciplinară. Apar noi tipuri de sinteze, de tip integrativ, prin acțiunea de sumare și interpretare unitară a observațiilor și experimentelor care conduc la un punct de vedere nou, sintetic-semiotic, al noilor probleme abordate, la diferite nivele de generalizare. Se conturează din ce în ce mai evident faptul că în cercetarea multidisciplinară actuală apare necesitatea integrării științelor și tehnicii cu filozofia. Orice acțiune multidisciplinară sau transdisciplinară implică comunicarea comună, reciprocă, a unor ipoteze, idei, procese și metode de lucru, fapt care, inerent, conduce la apariția unor discipline de graniță, solicită pătrunderea modelelor logico-matematice în activitatea integrativă, la apariția unor cercetători cu un rol de analiză-sinteză cu pregătire și orientare generală în mai multe domenii interdisciplinare cărora trebuie să li se găsească un numitor comun.

Firește, este necesar, de asemenea, găsirea unor limbaje comune cu rezolvarea sinonimiilor și corespondențelor cu o stabilire clară a semnificațiilor în funcție de receptare. Orice știință ajunge într-un anumit moment al evoluției sale la un anumit nivel epistemologic avînd axiomele și paradigmele sale, folosind anumite teze, o anumită metodologie, anumite expresii dintre care unele pot fi empirice. Nivelul praxiologic, precum și nivelul de predicție, este corelat cu acestea. În mod dinamic este necesară definirea unui anumit nivel conceptual operațional care să determine, în mod logic, noile raporturi care se conturează. Pentru a determina veridicitatea a două sau mai multe concepte utilizate este necesară o recursiune între sensul de lucru de la și către premizele problemei abordate și sensul ce se reliefează spre concluziile finale. Aceste sensuri oferă posibilitatea folosirii teoriei generale a sistemelor în modelarea și interpretarea unei largi game de probleme, de integrare dinamică între științele exacte și științele vieții de pildă. Pot fi studiate în acest context probleme ca echivalența transformărilor în cadrul

unor conexiuni energetice, capabile să ilustreze legături între sistemele vii, sistemele din natură și sistemele sociale.

Unificarea conceptuală a cunoștințelor dintr-o anumită perioadă și din mai multe domenii ale științei capătă o valoare euristică, care se răsfrînge cu o largă aplicabilitate în alte domenii ale cunoașterii umane. Analizele structurale operează selecții în criterii de analiză comparativă a diferitelor fenomene studiate, conturînd o politică a științei bine organizată și eficientă, adoptarea unor strategii neredundante, o epistemologie specifică domeniului abordat.

Folosirea intensivă a orientării interdisciplinare oferă o deschidere permanentă pentru dezvoltarea continuă, armonioasă, atît a științelor naturii și a celor tehnice, cît și a preocupărilor socio-umane. Departe de a îngusta competențele, abordarea interdisciplinară formează gînditori și oameni de știință plurispecializați, cu o înaltă profesionalitate.

Dacă acceptăm cultura ca fiind un „ansamblu de produse cumulative ale cunoașterii și practicii umane", avînd ca momente constitutive cunoașterea, creația, valoarea, comunicarea și finalizarea (momentul praxiologic), atunci cercetarea științifică interdisciplinară poate fi recunoscută ca un act de cultură cu funcții sociale transformatoare, cu contribuții recunoscute în fundamentarea și dezvoltarea civilizației umane.

Pregătirea multilaterală a specialiștilor din domeniul gîndirii științifice complexe stimulează talentele în această preocupare, deschide drumul marilor descoperiri.

În *Bazele criticii economiei politice* K. Marx spune: „Pe măsură ce se dezvoltă marea industrie, crearea bunăstării materiale va fi mai puțin dependentă de tipul de muncă și de cantitatea muncii... dar mai dependentă de starea generală a științei și progresul tehnologiei sau de aplicarea științei în producție".

În dezvoltarea acestor domenii considerăm că, la fel ca și pînă acum, munca susținută, intuiția și geniul creator, vor realiza salturi nebănuite.

Ajunși la capătul acestei scurte incursiuni printre ideile care jalonează unele probleme ale științei contemporane ne este poate mai ușor să înțelegem apariția unor concepte definite prin termenul de biotehnologie, de care vom încerca să ne ocupăm în continuare.

BIOTEHNOLOGIA — CONCEPT SINTETIC AL BIOȘTIINȚELOR ȘI TEHNOLOGIEI

Pentru cititorul încă neavizat asupra conceptului de biotehnologie credem că este utilă o scurtă trecere în revistă a istoricului și principalelor preocupări ale biotehnologiei, care de cîțiva ani cunoaște o amplă dezvoltare în multe centre științifice din lume.

Biotehnologia este un concept ce definește un domeniu transdisciplinar, cu mari implicații în dezvoltarea tehnico-științifică a prezentului și viitorului.

Analizînd ponderea diverselor categorii de cunoștințe aplicate în producția materială a omenirii constatăm că producția s-a realizat, în cea mai mare parte, după prescripțiile științelor tehnice dezvoltate, pe baza disciplinelor fizico-matematice, chimice, biochimice; științele despre biosisteme au început să influențeze, abia în ultimul timp, în mod serios, comandamentele producției industriale, materiale. Acest lucru este de înțeles ținînd seama de dezvoltarea lor mai tîrzie față de disciplinele fizico-matematice și chimice.

Biotehnologia se înscrie pe linia aplicării masive a științelor despre biosisteme în realizarea unor industrii optime sub toate aspectele. Ea vine în întîmpinarea celor mai complexe dorințe ale omului de azi și de mîine, ajutînd pe de o parte la realizarea acestor dorințe, iar pe de altă parte la formularea și precizarea acestora. Numai cunoașterea multidimensională poate preciza opțiunile omului, căci trebuie să înțelegem în ce condiții un anumit proiect poate fi îndeplinit. Putem să creăm proteine artificiale, dar numai studii serioase de biotehnologie pot preciza dacă aceasta va fi calea de urmat în viitor, ținînd seama de posibilele efecte ale erorilor de structură, inerente realizării practice.

Prin *biotehnologie* vom înțelege domeniul de preocupări științifice avînd ca scop producerea de tehnici, metodologii și tehnologii, pe baza cunoașterii profunde și multilaterale a structurii și funcționalității biosistemelor.

Fie că este vorba de cercetarea fundamentală legată de un biosistem, fie că este vorba de o cercetare aplicativă legată de biosisteme, aceste activități implică aparatură și proceduri ce înglobează rezultatele cercetării anterioare din mai toate domeniile științei. Colaborarea disciplinelor științifice și tehnice se realizează aproape de la sine, sub presiunea complexității obiectului de studiu: biosistemul.

Obiectivul principal al biotehnologiei este proliferarea acelor tehnici, metodologii, idei, care au ca punct de plecare înțelegerea profundă a proceselor biologice la toate nivelele de organizare ale biosferei, cu scopul final de îmbunătățire continuă a vieții omului, armonizarea individului cu natura, cu mediul social în continuă prefacere.

În acest scop, biotehnologia își asimilează pentru fiecare proiect al său cunoștințele, metodele, principiile de care are nevoie din cîmpurile speciale de cercetare. Condiția de reușită în asemenea cercetări este punerea în acțiune, dintr-un punct central, a unei mari mase de date de proveniență foarte diversă (date experimentale, modele, teorii etc.) fără a lua în seamă granițele impuse didactic, diverselor discipline. Singura cerință este adecvarea lor la situația problemei aflată în studiu. Mînuirea acestor date atît de diverse cere, desigur, un nou mod de interpretare, de prelucrare și însușire a științei, posibil azi, în era informației și calculatoarelor, cînd se creează teorii din ce în ce mai cuprinzătoare. Dacă datele care duc de pildă la rezolvarea unei probleme lipsesc ele se obțin prin metoda cea mai adecvată și cu participarea celor mai potriviți specialiști.

Dintre capitolele științei existente, pe care le considerăm drept cadru conceptual în care se pun și se rezolvă problemele teoretice și practice ale biotehnologiei, amintim: biofizica, biochimia, biomatematica, cibernetica, teoria informației, bionica, teoria generală a sistemelor, fiziologia, biologia moleculară, radiobiologia, ecologia și disciplinele tehnice. Se înțelege că fiecare proiect în parte „cheamă" o parte mai mare sau mai mică dintr-o anumită disciplină, un număr mai mare sau mai mic de discipline.

Important pentru scurtarea timpului de rezolvare a unei probleme, a unui proiect etc. este ca proporția între activitatea teoretică și practică să fie judicios aleasă, în funcție de caracterul problemei. Azi a devenit posibil un studiu teoretic profund al oricărui proiect etc. înainte de a pune în acțiune mijloacele materiale și financiare necesare realizării lui practice: am putea spune chiar că acesta a devenit în vremea noastră un mod uzual de lucru.

Pentru a ușura accesul în preocupările de biotehnologie dăm mai jos o reprezentare posibilă a principalelor sale compartimente cu aplicație directă în practică.

Bioingineria: aparatura biomedicală, stimulare și protezare, biomateriale etc.

Ecologia: protecția mediului și habitatului, sisteme de transport etc.

Biotehnica: procese de fermentație industriale (pîine, bere etc.), optimizări alimentare (proteine etc.), optimizarea activității spitalelor (diagnosticarea cu ajutorul calculatoarelor monitorizate, ingineria sanitară, ingineria genetică).

Chiar și numai din schema prezentată mai sus rezultă o arie de preocupări ale biotehnologiei extrem de întinsă. Aproape toate ramurile științei sînt implicate direct sau indirect în programele biotehnologiei. Trebuie arătat că în cadrul fiecărui subcapitol în parte pot fi caracterizate domenii de preocupări speciale. Astfel, în cadrul bioingineriei medicale s-au dezvoltat o serie de ramuri cum sînt: ingineria mecanică și electronica medicală (care au realizări deosebite și în țara noastră). S-a dezvoltat sectorul de măsură de control a diferiților parametri ai biosistemelor, s-au creat traductori specifici de mare performanță. S-au realizat programe subtile de analiză a semnalelor bioelectrice cu ajutorul calculatoarelor. Dezvoltarea programelor spațiale au contribuit în cea mai mare măsură la extinderea unor aparaturi perfecționate și în unele preocupări ale biotehnologiei.

În cadrul biotehnologiei, bioingineria spațială și cosmică, cuprinzînd studiul biocomplexelor a bioindicatorilor cu importanță pentru zborurile cosmice de lungă durată, este un domeniu de avangardă.

Bioingineria mediului înconjurător cu problematici legate de protecția mediului, amenajarea teritoriului ca și a habitatului, este una dintre cele mai importante compartimente ale biotehnologiei (de fapt există autori care

reduc biotehnologia tocmai la problemele protecției mediului). În aceste sectoare se caută metode, tehnici pentru curățirea mediului de reziduuri nocive și de prevenire a poluării lui precum și găsirea unor soluții optime pentru habitatul uman.

În schema de mai sus nu au fost trecute, dar merită amintite, o serie de preocupări care se încadrează tot în biotehnologie.

Astfel, problemele legate de cancer, bioritmuri, optimizări de metabolism, acțiunea factorilor meteorologici și cosmici asupra organismului conduc la idei, tehnici și metodologii noi fără de care nu poate fi apărată viața omului.

Devine de asemenea tot mai clar că studiul sistemelor biologice evoluate va trebui să includă printre preocupările sale manifestări ale materiei vii puse în evidență în condiții speciale. Este vorba de sisteme de comunicație mai puțin cunoscute (ex. de tip telesomatic) cu efecte la nivelul armonizării relațiilor între oameni.

Pentru a avea o imagine sumară a dezvoltării istorice a preocupărilor privind sinteza biomedicină-inginerie ar trebui început cu preocupările lui Leonardo da Vinci, marele artist și inginer, privitoare la structura organismului uman. Folosind principiile mecanicii cunoscute atunci ca și cunoștințele sale matematice, el a studiat acțiunile sistemului muscular ajungînd la înțelegerea dinamicii mersului și respirației.

Trecînd spre timpuri mai recente (secolul al XVIII-lea) constatăm că electricitatea a fost și ea aplicată în terapeutică. Contracția musculară observată la descărcarea unui corp încărcat electric a dus la folosirea descărcărilor electrice în tratarea reumatismului și a paraliziei. Se știe cît de importantă pentru medicină a fost descoperirea lui Galvani (spre sfîrșitul secolului al XVIII-lea) privitoare la contracția mușchiului de broască excitat electric.

Aceste tehnici de început comportau multe neajunsuri provenite din necunoașterea pe de o parte a legităților fizice ce stăteau la baza fenomenelor electrice, iar pe de alta a necunoașterii în domeniul structurilor biologice, astfel că interacțiunea cîmp electric — sistem biologic rămînea neînțeleasă. De fapt nici azi nu se poate spune că ele sînt pe deplin elucidate.

În epoca modernă (secolul al XIX-lea) în științele de-

spre natură se instaurează un spirit nou, pozitiv, o dată cu folosirea măsurătorilor. Întrucît rezultatele unei măsurători se pot exprima cifric, devine posibilă judecarea evenimentelor cercetate prin prisma unor legi exprimabile matematic. În acest mod s-a trecut de la studiul calitativ al realității la studiul cantitativ al ei. Această trecere a marcat începutul unei dezvoltări impetuoase a unor discipline: fizica, chimia și ingineriile. Rezultatele nu au întîrziat să fie aplicate acolo unde era posibil. Nu a fost ocolită nici cercetarea biomedicală. Este suficient să amintim dezvoltarea microscopiei pentru biologie și medicină ca și inventarea unor aparate care să măsoare forța musculară, volumul respirator, presiuni și deplasări ale fluidelor în timpul activităților fiziologice. Desigur, aceste prime aparate aveau la bază traductori, în majoritate mecanici, care nu puteau realiza înregistrări de mare precizie.

Dezvoltarea electricității și în special a electronicii a făcut posibilă crearea unor aparate de mare sensibilitate: amplificatoare, generatoare, osciloscoape și alte instrumente de măsură care să permită folosirea lor și în cercetarea biomedicală. S-au creat astfel dispozitive pentru studierea parametrilor sistemului cardiovascular și pulmonar (debitul de sînge și de gaze respirabile). De la spirometrele simple s-a ajuns la pneumotahograf, aparat care înregistrează frecvența și amplitudinea respirației în funcție de timp. S-au realizat măsurători de puls cu dispozitive electrice, aplicînd un microfon pe un vas sanguin principal. Semnalele bioelectrice puse în evidență, și pentru care vor fi create, în timp, tehnici din ce în ce mai subtile, sînt de joasă frecvență și de amplitudine: de aici necesitatea de a crea amplificatori cu un răspuns de frecvență pînă la 100 Hz. S-au ivit probleme importante atît în privința traductorilor cît și a amplificatorilor. Pe de o parte în cazul traductorilor, liniaritatea, răspunsul în frecvență și stabilitatea sînt trei probleme care au necesitat fiecare un studiu special; pe de altă parte, în cazul amplificatorilor, problema fundamentală a fost aceea de a putea discerne între semnalul util și zgomotele care provin de la diverse surse. Această cerință reclamă tehnici speciale de analiză și de prelucrare a datelor.

Diferențele conceptuale și metodologice și implicit diferențele de limbaj fac ca multe din noțiunile comune bio-

logiei și tehnologiei inginerești să fie greu integrabile unor acțiuni comune. Este necesară conturarea unui limbaj comun și unui lexic adaptat noilor cerințe.

Dezvoltarea noilor tehnologii a pus în evidență o intrepătrundere a domeniilor biomedicale cu cele ale științelor „exacte" și tehnice ca și necesitatea unor sinteze de mare anvergură.

Cercetarea biologică fundamentală are în vedere probleme ale cunoașterii proceselor la diferite nivele de organizare a lumii vii ca și a prebiologicului.

Înțelegerea fiziologiei celulare, plecînd de la elementele sale structurale, este zona centrală de preocupări în biologia modernă. Acest gen de cercetare vizează proteinele, acizii nucleici, nucleoproteinele, modul în care acestea participă la procesele metabolice, energetice și informaționale. Metodologiile și aparatura dezvoltate în procesul de cercetare din biologia modernă implică pe lîngă o competență științifică în domeniul biochimiei, biofizicii, termodinamicii etc. și o competență tehnică (electronică, mecanică fină, prelucrarea automată a datelor etc). În ultimul timp a devenit necesară studierea unor sisteme la intervale de timp foarte mici (de ordinul mili- și microsecundelor). Astfel, substanțe de interes vital supuse iradierii trebuie studiate cît mai repede pentru a constata modificările: ori sesizarea acestor mici intervale de timp nu se poate face decît cu dispozitive automate extrem de sensibile. Aceste fapte, relatate pe scurt, subliniază caracterul complet al preocupărilor aferente biotehnologiilor în prezent.

Trebuie să remarcăm însă că nu toți autorii sînt de acord cu conținutul atît de complex al acestei noi ramuri a științei, ei înglobînd în biotehnologie numai preocupările biotehnicii și ingineriei genetice. Numeroase universități și centre de cercetare din lume și din țara noastră consideră că tematicile de biotehnologie cuprind doar preocupări productive pornite de la biotehnologia industrială, prelucrări enzimatice, obținerea de biomase și bioproduse alimentare, biochimice și farmaceutice, precum și unele transformări obținute cu ajutorul geneticii moleculare și ingineriei genetice.

Aceste domenii ale biotehnicii sînt, în principal, apanajul specialiștilor în biochimie, inginerie chimică și biologie moleculară.

Tratatul de biotehnologie, conceput în 8 volume, de H. J. Rehm și G. Reed, din care au apărut în anul 1981 și anul 1983 2 volume, este adresat microbiologilor, biochimiștilor, bioinginerilor, inginerilor chimiști și specialiștilor în farmacie și alimentație din industrie, universități și instituțiile publice. El definește domeniul ca o „integrare a utilizării biochimiei, microbiologiei și ingineriei chimice în vederea aplicațiilor tehnologice a proprietăților microbilor și culturilor de țesuturi".

Biotehnologia însă, în accepția globală, include *biotehnica,* compusă la rîndul ei din biochimie aplicată, microbiologie industrială, ingineria genetică și biotehnica farmacologică și cea alimentară, și *bioingineria* cu multiplele ei secvențe, în primul rînd biomedicale.

O serie de capitole cum ar fi biomaterialele și bioinstrumentația, biocibernetica și bionica, ecologia și radiobiologia, informatica și utilizarea calculatoarelor sînt comune tuturor preocupărilor de ordin biotehnologic.

Se răspîndește ideea potrivit căreia o mobilizare a resurselor din domeniile biologice, similare cu cele din efectuarea experimentelor din domeniul cercetării spațiale și al energiei atomice, ar conduce la soluționarea unor mari probleme care confruntă lumea de azi.

Dezvoltarea microbiologiei farmaceutice, după descoperirea cortizonului, vitaminei B_{12} și a antibioticelor, a pus bazele unei largi colaborări între chimia industrială, engineering și microbiologia aplicată. Tehnologia bacteriană a fost definită ca „domeniul de aplicare a microorganismelor, a sistemelor și proceselor biologice în industrie". Dar originile biotehnicii s-ar părea că se află în vechime, atunci cînd se obțineau produse de fermentare a laptelui prin acțiunea produsă în mod natural de acidul lactic al bacteriilor sau cînd în alte activități tradiționale se utiliza procesul de fermentație (conservarea, obținerea materialelor etc.).

În decursul timpului s-au făcut numeroase încercări de „domesticire industrială" a microorganismelor, dar problemele economice, în special cele ale țărilor neindustrializate, au dat un nou impuls acestor preocupări, mai ales începînd cu deceniul al cincilea al secolului nostru. Atenția s-a concentrat în special pe utilizarea resurselor reînnoibile, cu o mare capacitate de regenerare.

Din nevoia de a soluționa problematica acută a unor

imperative industriale, biotehnica își are în prezent rădăcini în numeroase domenii principale: biochimia, biofizica, ecologia, biologia marină, agronomia, botanica, microbiologia industrială, genetica microbiană, engineering.

Combustibilii fosili au fost reactualizați nu numai ca surse de energie, ci și ca materii prime pentru prelucrarea industrială biotehnologică, îndeosebi pentru hrană, medicamente, țesături, fertilizatori, bioinsecticide, biocatalizatori. De pildă, obținerea somatostatinei umane, a hormonului de creștere, a insulinei și interferonului sînt subiectul de predilecție a unor biotehnologi din întreaga lume, ca și problemele resurselor bioregenerabile, care constituie un puternic stimulent al progresului economic din numeroase țări. Studiul produșilor de biomasă vizează aprovizionarea cu proteine pentru hrana omului și a animalelor. Un exemplu spectaculos al utilizării metodologiei biotehnologice îl constituie industria farmaceutică. Industriile biosintetice microbiane implică fie sinteze microbiane totale, cînd produsul dorit rezultă la capătul procesului microbiologic, fie parțiale cînd un material precursor este adăugat pentru transformarea unor etape, sau un produs este obținut prin mai multe etape în tehnologia bacteriană.

Potențialele tehnologiilor de bioconversie microbiană și utilizarea resurselor biosferei planetei constituie un instrument efectiv și economic în creșterea nivelului de viață al populației planetei. Procesele și procedeele de fermentație oferă o ocazie unică pentru creșterea cantității și calității proteinelor din întreaga lume, unde producția principală de alimente este bazată pe amidon, asigurînd diete nutriționale de mare importanță biologică și economico-socială.

Achiziția microbiană a azotului atmosferic pentru folosul plantelor este un alt capitol de mare interes al biotehnologiei. Reziduurile agricole și forestiere au fost în mod sporit investigate ca o sursă posibilă de energie. Biomasa este și o importantă sursă de substanțe chimice convertibile. Producerea alcoolului, a proteinelor microbiene și de stocuri pentru industria de mase plastice și industria cauciucului, sînt alte utilizări ale biomasei, a cărei folosire poate produce valori de zeci de miliarde pe an.

Obținerea biogazului este de asemenea rentabilă în anumite țări. Folosirea deșeurilor agricole forestiere, gospodărești, pe lîngă importanța economică, joacă un rol decisiv în depoluarea mediului înconjurător.

Reziduurile de fermentație ale acestor deșeuri pot fi utilizate ca fertilizatori pentru condiționarea solului sau în obținerea unor culturi intensive de ciuperci, surse de proteine și de generare a unor avuții în mediile unde sînt cultivate. Deșeurile biodegradabile organice din industriile producătoare de hrană, din hîrtie, sau de la recolte sînt o sursă importantă de combustil.

Recuperarea mineralelor reziduale constituie un alt domeniu de utilizare a tehnicilor bacteriene, iar meritele economice și ecologice ale acva-culturilor nu mai trebuie demonstrate.

Înlocuirea combustibilului din lemn și a cărbunelui va aduce beneficii în economia diferitelor țări, în care acesta constituie 80—90% din energia totală consumată.

În teritoriile aride se conturează o „biotehnologie a deșertului" ce promite mult în rezolvarea stocării de alimente și furaje, a producerii de recolte și combustibil în țările neproducătoare de țiței. Mari suprafețe pot fi recuperate, în special dintre cele despădurite. Combaterea deșertizării altor regiuni poate beneficia de asemenea de biotehnologie.

Una dintre cele mai actuale și mai spectaculoase realizări este însă cea care ține de tehnologia genelor. Ingineria genetică, avînd ca substrat dezvoltarea impetuoasă a biologiei moleculare și a biochimiei în genetică, a revoluționat tehnologia fermentativă.

Cercetarea curentă a stabilit tehnicile de transfer ale genei ca metode foarte promițătoare pentru producerea comercială a unor substanțe ce puteau fi greu obținute prin alte metode. Bazele moleculare ale apariției cancerului pot fi elucidate tot cu ajutorul acestor noi metode.

În țările industriale dezvoltate, biotehnicii i se acordă o importanță comparabilă cu cea acordată fizicii atomice și microelectronicii.

Patternurile din biotehnologia ultimilor 20 de ani indică că progresul științei și influențele sale sociale sînt la fel de importante ca și factorii economici stimulați de inovațiile și largile aplicații ale industriilor biotehnice.

După această privire sintetică de-a lungul principale-

lor obiective și realizări ale biotehnicii să ne ocupăm de preocupările microbiologiei industriale, așa cum se conturează ele astăzi.

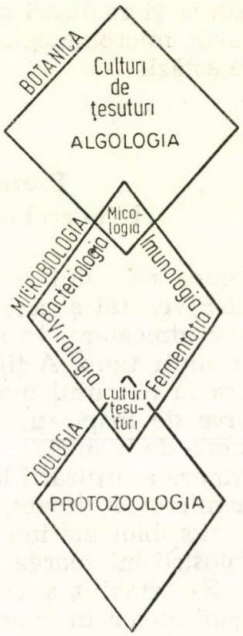
Prezent și viitor în microbiologia industrială

Utilizarea regnului protistelor (organisme unicelulare cu caracter vegetal și animal) și a microbiocenozelor din sol, apă și atmosferă, în scopuri practice, este cunoscută de foarte mult timp. Acțiunea și contribuția inestimabilă a acestora la circuitul materiei în natură a creat numeroase surse de inspirație tuturor celor care s-au ocupat de producția de bunuri.

Ca urmare a utilizării lor din ce în ce mai diversificate a acestor microviețuitoare, a apărut o nouă ramură a științelor — microbiologia industrială — care studiază posibilitatea folosirii microorganismelor în diferite procese tehnologice. S-a stabilit și se cercetează în continuare rolul microorganismelor în apariția unor modificări folositoare în industria alimentară, dirijarea și combaterea unor efecte dăunătoare, studiul unor procese fermentative și de conservare a produselor alimentare (biotehnica), produse medico-farmaceutice obținute cu ajutorul microorganismelor etc.

Tot în acest cadru sînt bine cunoscute, încă de multă vreme, procesele biotehnice ale preparării conservelor, pîinii, băuturilor alcoolice, oțetului, topitului inului și altele care însă pînă în secolul trecut au fost aplicate oarecum empiric. O dată cu dezvoltarea chimiei și punerea la punct a unor procedee folosind procesele fermentative (fermentația alcoolică, fabricarea alcoolului etilic din cereale, trestie de zahăr, cartofi ș.a., utilizarea microorganismelor în industria diversificată a berii etc.), ele au căpătat fundamente științifice care au dus la crearea unor lanțuri tehnologice industriale (microflora lactică este utilizată intens în prepararea untului, industria brînzeturilor și a preparatelor din lapte, în procese tehnologice în flux continuu). Diferite microorganisme sînt utilizate curent în industria conservării alimentelor, în producerea furajelor însilozate, în procesele de topire controlată din

Fig. 1
Domenii de utilizare
a microorganismelor



industria textilă precum și în producerea unor substanțe industriale, ca de pildă: acidul galic, acidul citric, glicerina, alcoolul butiric, alcoolul izopropilic și altele. Aspectele teoretice ale cercetării precum și cele metodologice de fabricație au conturat noul domeniu *biotehnica* inclusă în denumirea generală de *biotehnologie*.

Bacteriile sînt și un auxiliar prețios în așa-numita „luptă integrată", adică în distrugerea unor dăunători ai culturilor, plantelor etc. De pildă, *Bacillus thuringiensis* este folosit împotriva omizilor brazilor, care distrug anual zeci de mii de hectare, în diferite țări (bacteria este răspîndită sub formă de insecticid pe acele pinilor unde este ingerată de omidă, provocîndu-i o infecție generală de tip septicemic). În acest context, științele agricole și tehnologia forestieră constituie largi domenii de preocupări în biotehnică. Cercetarea tehnomicrobiologică a fost impulsionată și de interesul unor cercetări fundamentale în special în ingineria genetică.

Majoritatea descoperirilor asupra mecanismelor eredității s-au făcut în urma studiilor efectuate pe celule bac-

teriene ale căror unic cromozom și viteza mare de înmulțire au creat condiții optime unor astfel de cercetători. În ultimii ani, investigațiile științifice ale comportării microorganismelor au căpătat un caracter exploziv, realizîndu-se progrese de o mare valoare științifică și aplicativă. La sfîrșitul anului 1977 a fost brevetat primul microorganism viu, creat de om, *Streptomyces Vellosum* utilizat la fabricarea de noi antibiotice. Folosind bacteriile cercetătorii californieni au reușit să producă un hormon cerebral — *somatostatina* — folosind cîțiva litri de bulion de cultură microbian, în timp ce, pentru aceeași cantitate de substanță (cîteva miligrame), cercetătorii francezi, cu cîțiva ani înainte, au folosit triturate provenind de la peste o jumătate de milion de creiere de miel.

La Universitatea Stanford, banala *Escherichia coli* (prezentă în flora intestinală a omului) a fost „pusă" să fabrice insulină, atît de necesară diabeticilor, substanță extrasă în mod obișnuit din pancreasul de porc, sau fabricată sintetic. Prețul și cantitatea de insulină produsă de o uzină bacteriană sînt extrem de avantajoase.

Bacteriile pot converti direct lumina solară în energie utilizabilă. În momentul de față un trust chimic englez produce cîteva mii tone de proteine anual prin cultivarea pe medii de cultură cu metanol, proteine destinate îmbogățirii alimentelor destinate animalelor și păsărilor. În 1980 o altă uzină a aceleiași firme a produs 70 000 tone de produse îmbogățite cu proteine microbiene.

Perspectivele sînt uimitoare, dacă ținem seama de faptul că o tonă de bacterii pot produce, într-o singură zi, o sută de miliarde de kilograme de proteine. Cercetătorii japonezi apreciază că folosirea de către bacterii a numai 5% din consumul actual de petrol ar putea acoperi necesarul de proteine ale întregii populații (4,6 miliarde) a globului. Pentru sinteza materialelor lor organice bacteriile au nevoie de carbon, oxigen, hidrogen, azot, iar unele și de fosfor, sulf, zinc, elemente care se găsesc în natură sub formă de materii organice sau minerale. Pentru a le desface bacteriile folosesc produse secretate ce secționează marile molecule. Pe medii convenabile bacteriile sintetizează produse ce rămîn în celulă (proteine, vitamine) și altele care sînt „aruncate" la exterior (acizi, alcooli, enzime, polizaharide) substanțe care pot fi folosite în industrie. Pe acest principiu sînt produse o sută de anti-

biotice, acizi organici, solvenți, vitamine, acizi aminați și altele.

Anumite sușe bacteriene producătoare de azot trăiesc în simbioză cu plantele cărora le furnizează direct azot. Folosirea acestor microorganisme NIF (nitrogen fixatoare) pot înlocui cu succes îngrășămintele chimice costisitoare. În subsol, tiobacilii *(Thiobacillus ferroxidans)* pot elibera anumite cantități de metale (nichel, cupru, uraniu) prin biolixiviație (procedeu de eliberare a metalelor fixate prin reacții chimice în soluții sub formă stabile, soluții ce sînt recuperate în rezervoare speciale). În U.R.S.S., se valorifică astfel bauxite din Ural, în Australia se utilizează metode pentru extragerea nichelului, iar în S.U.A. se extrag 110 000 tone de cupru zilnic.

Prin cercetări întreprinse asupra plasmidelor (formațiuni de ADN prezente la bacterii, alături de unicul cromozom) s-a reușit crearea unei „super-bacterii" consumatoare de petrol. Ne putem ușor imagina colosala importanță a acestui fapt în lupta împotriva poluării cu țițeiul a oceanelor. Răspîndite din avion sub formă de pudră pe suprafața mareelor negre, aceste bacterii condiționate „să mănînce" patru sorturi de hidrocarburi, vor prolifera rapid și vor transforma petrolul în proteine asimilabile pentru planctonul marin.

Dezvoltarea cercetărilor biotehnice asupra microorganismelor au de asemenea implicații deosebite în industria produselor farmaceutice, a plasticului, a pielăriei, a rășinelor sintetice.

Din ce în ce mai multe specii bacteriene sînt folosite în producerea melaselor, a subproduselor fermentației zahărului și fermentației alcoolice. Alte microorganisme ce se găsesc în stomacul termitelor producătoare a unor puternice enzime — celulazele — fabrică cu ajutorul acestora glucoza, prin degradarea hîrtiilor sau a paielor.

Bacteriile, în „cooperare" cu unele alge, au început să fie folosite în tratarea deșeurilor urbane (digerare de biomase cu producere de săruri minerale, fosfați, nitrați etc.).

Folosirea lumii microorganismelor în cercetarea legată de cucerirea spațiului cosmic este un capitol de o importanță care nu mai trebuie subliniată. Simpla enumerare a multiplelor posibilități de utilizare tehnologică ar depăși cu mult spațiul pe care ni l-am propus. Menționăm numai descoperirea unei bacterii magnetice (conțin în structura

lor magnetită) și care va avea utilizări de vîrf în biologia cosmică.

Cercetarea relațiilor interbacteriene deschide nebănuite căi cercetării viitorului. Studii recente au relevat, de exemplu, condiționarea bioritmică a unor bacterii „industriale". S-au evidențiat în acest fel efecte inhibitorii și fazice la lumină la *Sacharomyces cerevisae*, care își modifică diviziunea celulară și transportul aminoacizilor în funcție de ritmul circadian. Importanța unor astfel de studii pentru tehnologia de mîine este evidentă.

Situîndu-ne în cîmpul de preocupări al microbiologiei, trebuie să arătăm că studierea microorganismelor unicelulare, cu importanță deosebită pentru medicină și industria farmaceutică, a cunoscut în ultimul timp și alte aspecte. Este vorba despre dezvoltarea unor cercetări sub denumirea de *microbiologie inginerească*, unde sînt studiate cinetica populațiilor de celule (sau microorganisme) în diferite condiții, cu scopul expres de a folosi datele de studiu la proiectarea unor cultivatoare de microorganisme în flux. Se studiază, pornind de la o serie de observații, stabilitatea sistemului de microorganisme ca și productivitatea cultivatoarelor. În studiul unor populații de celule problema care se pune este de a obține linii pure; de aici necesitatea de a proiecta instalații de înmulțire rapidă a bacteriilor avînd la bază posibilitatea de a le recunoaște după formă sau după alte proprietăți. Realizarea unor asemenea instalații complexe a permis și studiul pe celule din țesut uman, riguros selecționate, mărind valoarea științifică a cercetărilor efectuate, cu aplicații practice imediate în studii de patologie. Pe aceeași linie s-au dezvoltat tehnici de optică pentru analiza elementelor sîngelui sau în instalații bazate pe modificări ale variațiilor biocurenților. În cercetările legate de coloniile de celule a apărut necesitatea de a măsura concentrația de oxigen în mediul lor de viață. De aici, dezvoltarea oximetriei (determinarea cantității de oxigen în hemoglobină) și, în particular, a polarografiei (metodă de analiză electrochimică a unor substanțe), cu participarea masivă a electrochimiei moderne și a electrotehnicii. Azi, firmele specializate în acest domeniu prezintă spre vînzare instalații complete de monitorizare a conținutului de oxigen cu mare precizie.

Industria a devenit și mai mult dependentă de folosirea tehnologiilor microbiene de fermentație, care înlo-

cuiesc procese sintetice complexe. Procedurile biotehnologice, în comparație cu alte procedee chimice, au o serie de avantaje dar și unele dezavantaje.

Dintre avantaje amintim: stereospecificitatea reacțiilor enzimatice, mai multe reacții enzimatice fiind implicate într-un „step" de fermentație. Se obțin astfel producții biosintetice mari, de structuri complicate, cu un preț de cost scăzut. Folosirea materialelor brute ieftine ca medii nutritive și substrate este un alt avantaj, ca și fabricarea unor produși care nu sînt disponibili prin mijloacele sintezelor chimice.

Printre dezavantaje enumerăm: necesarul de energie pentru aerare și sterilizare, numărul sporit al parametrilor de reglare și control al fluctuațiilor biologice datorate folosirii celulelor vii precum și formarea de biomasă nefolositoare. Mai putem menționa, ocazional, formarea de mirosuri toxice.

Iată cîteva procese de aplicare a microorganismelor în scop productiv, produsele care se obțin și industriile beneficiare:

Domeniu de aplicare	Produse	Industria
Producerea de alimente fermentate	Brînzeturi, iaurt, oțet, produse din soia (sosuri)	Ind. alimentară
Producerea și utilizarea celulelor microbiene	Drojdia de bere Nutreturi Obținerea de acizi nucleici, proteine și a altor componente celulare pentru prepararea insecticidelor microbiane și pentru producția de biofertilizatori	Ind. alimentară Ind. agricolă Ind. biofarmaceutică Ind. chimică
Ind. berii	Bere, vin, băuturi distilate	Ind. alimentară

Domeniu de aplicare	Produse	Industria
Producerea de solvenţi industriali	Alcoolul etilic industrial Alcoolul etilic aditiv	Ind. chimică
Producerea de acidulaţii organice	Acid citric, acid lactic, acid fumaric	Ind. alimentară Ind. chimică
Producerea de polizaharide macromoleculare	Dextran, levan etc.	Ind. chimică Ind. alimentară
Producerea de antibiotice	Penicilină, streptomicină, kanamicină, bleomicină, actinomicină, blasticidin ş.a.	Ind. medicală Ind. agricolă
Producerea de substanţe fiziologic active	Vit. B_1, Vit. B_6, Vit. B_{12}, transformarea microbiană de steroizi şi alcaloizi, Gibereline (hormoni de creştere ai plantelor)	Ind. medicală Ind. agrosilvică
Producerea de aminoacizi	Acid glutamic, lizină, ac. aspartic, arginină, ornitină, treonină, tirozină, valină, fenilalanină, leucină, triptofan etc.	Ind. alimentară şi furajeră Ind. chimică
Producerea de mononucleotide şi compuşi legaţi	Acid 5-inosinic Acid 5-guanilic 5-amino-4-imidazol-carboxiamidă, ATP, AMP ciclic etc.	Ind. medicamentelor Ind. alimentară
Producerea şi utilizarea de enzime	Amilază, protează, lipază, celulază, aspartază, enzime instabile	Ind. băuturilor Ind. fibrelor Ind. cosmetică Ind. chimică

Domeniu de aplicare	Produse	Industria
Conservarea mediului natural	Reciclarea și utilizarea deșeurilor biodegradabile, prevenirea noxelor microbiene	Ind. medicală
Alte domenii	Extragerea cuprului, uraniului, zincului, magneziului, fierului. Utiliz. în ind. țițeiului. Utiliz. de alge și bacterii fixatoare de azot	Materii prime

Avantajele economice ale biotehnicilor microbiane sînt, credem, evidente și ele vor deveni atît în țările industrializate cît și în cele în curs de dezvoltare o necesitate absolută.

Dacă la început însă dezvoltarea biotehnicilor a fost mai entuziastă, datorită utilizării unor substrate ieftine ca: metanolul, petrolul, substanțele hidrocarbonate și cele petrochimice, care nu mai pot fi refăcute, în prezent tendințele se îndreaptă spre utilizarea unor substrate care se refac și, în special, spre deșeuri.

Reziduurile agricole și forestiere au fost în mod crescut investigate și ca o sursă posibilă de energie. Ele prezintă avantaje cum ar fi: refacerea periodică, producție domestică controlabilă și conversie curată, fiind și o puternică sursă de materii chimice. Tot mai multe țări utilizează tehnologiile de biomasă microbiană. Programele de cercetare proiectate pentru obținerea combustibililor din biomasă alocă sume considerabile în acest scop.

Producerea de vaccinuri microbiane — metodă de succes pentru prevenirea și controlul bolilor transmisibile — este o ramură a biotehnologiei în plină dezvoltare și constituie o punte de legătură între cercetarea biotehnică și biotehnologia medicală.

Interacțiunea dintre medicină și inginerie

Medicina ca știință și artă a îngrijirii pacientului este una dintre cele mai vechi preocupări ale omului, iar cunoștințele privind sănătatea s-au acumulat constant de-a lungul veacurilor.

Astăzi, medicina modernă este ea însăși o știință multidisciplinară, deoarece înglobează atît în actul diagnosticării și al terapiei, dar mai ales al prevenirii apariției bolilor, un imens bagaj de informații din aproape toate ramurile științei. Secolul al XX-lea, dar îndeosebi perioada din ultimile trei decenii, a înregistrat un impresionant progres din impactul între dezvoltarea și explozia informațională din știință pe de o parte și dezvoltarea rapidă a unui semnificativ arsenal medico-terapeutic.

Dezvoltarea rapidă a biologiei moleculare, a biochimiei și a biofizicii, a determinat schimbări profunde în gîndirea biologică, a deschis drumuri nebănuite dezvoltării ingineriei aplicate în medicină, a cărei amploare o putem constata și a cărei creștere continuă. De la o primă etapă de perfecționare continuă a instrumentației medico-sanitare din practica curentă, microelectronica și informatica au pătruns în toate specialitățile medicale. Anestezia și reanimarea nu mai pot fi concepute astăzi în afara unor aparaturi complexe și sofisticate, de o înaltă fiabilitate, care conferă o maximă siguranță actului operator. Specialitățile chirurgicale sînt mari beneficiare ale noutăților tehnologice, începînd cu perfecționatele bisturie electrice și pînă la chirurgia cu laser și cu radiații. Desigur, un imens progres în îngrijirea preoperatorie, întraoperatorie și postoperatorie îl constituie monitorizarea și sistemele de control, alarmă și intervenție în clinica urgențelor chirurgicale și medicale. Măsurătorile automate și corelarea unor parametri și indici fiziologici în urmărirea modificărilor ce survin în cursul evoluției afecțiunii la pacient constituie un mijloc eficient de control dinamic al proceselor morbide.

Foarte multe cazuri limită sînt controlate și recuperate datorită aparaturii medicale existente. Chirurgia cardiovasculară ar fi greu de conceput fără existența unei instrumentații și aparaturi, la crearea căreia bioinginerii și-au adus din plin contribuția în ultimii ani.

Laboratorul clinic utilizează aparate automate de microanalize care efectuează concomitent, și într-un timp foarte scurt, seturi de examene de laborator curente sau speciale. Probitatea și viteza obținerii rezultatelor în acest mod mărește substanțial utilitatea acestor analize în conducerea actului diagnostic sau în terapie, precum și în prognozarea evoluției bolii. Există în prezent aparatură care determină în mod continuu evoluția a numeroși parametri din sînge sau din alte umori biologice.

Medicina grefelor și a transplantelor este și ea puternic sprijinită de cercetările efectuate asupra unor biomateriale noi, biocompatibile și nerejectabile.

Radiobiologia și medicina nucleară reprezintă imense arii de colaborare a inginerilor cu medicii și biologii. Universul eredității umane pretinde pentru explorare cea mai fină instrumentație microscopică fizică și chimică.

Dacă reamintim faptul că ingineria genetică (tehnologia ADN-ului) nu ar fi putut exista fără existența și aplicarea unor tehnologii de vîrf, avem o imagine relativ sumară a imensului rol al aplicațiilor domeniilor inginerești în biomedicină.

Dezvoltarea impetuoasă a calculatoarelor și roboților, a software-lui și hardware-lui, a creat noi domenii de preocupare, care, pornind de la modelarea matematică și pe calculator, de la implementarea unor date pe computer și utilizarea unor bănci de date pînă la prelucrarea unor informații telemetrizate, a permis ca medicina să stăpînească nu numai o mare parte din patologia cunoscută dar și ceea ce numim astăzi medicina omului sănătos.

În medicina culturii fizice și sportului, a performanțelor sportivilor, modernizarea aparaturii medicale aduce serioase contribuții atît în dezvoltarea unor aptitudini etc., cît și în cunoașterea și recuperarea accidentelor intervenite.

Un domeniu extrem de vast, acela al medicinii spațiale și biologiei cosmice, al exobiologiei, este tributar aplicării procedeelor tehnologice în studiul comportamentului organismelor vii. Studiile întreprinse în cadrul acestor programe au largi aplicații în medicina terestră și citățm, de pildă, miniaturizarea unor instalații de măsurări fiziologice, cum sînt de exemplu electroencefalografele și electrocardiografele, care pot furniza astăzi date și de la purtători care se află în mișcare.

Întrepătrunderea conceptelor tehnice și biologice a condus la dezvoltarea rapidă a unor domenii interdisciplinare cum ar fi: biocibernetica, bionica, teoria sistemelor, recunoașterea de forme și inteligența artificială a căror dezvoltare constituie un aport prețios la viitoarele realizări ale bioingineriei medicale. Firește, a luat naștere necesitatea formării unor specialiști cu un orizont nou, provenind atît din învățămîntul de formație politehnică cît și din cel medical. A apărut totodată necesitatea găsirii unui nou limbaj, comun ambelor domenii. Bioinformatica și biocibernetica au creat posibilitatea organizării la un înalt nivel a rețelei de asistență medico-sanitară, a automatizării spitalelor, a diagnosticului asistat de calculator și cu toate că cheltuielile legate de crearea acestei tehnici noi sînt destul de ridicate, economiile de timp și materiale sînt semnificative și justifică eforturile depuse.

În momentul de față există și la noi un larg interes pentru dezvoltarea tehnologiei ca instrument de lucru atît în domeniul ocrotirii sănătății cît și pentru asigurarea bazei necesare în competitivitatea cercetării științifice pluridisciplinare din țara noastră cu cea de pe plan mondial.

Rezultatele economice pot fi cu greu prevăzute, dar este semnificativ că numai dezvoltarea biotehnicii, legată de industria alimentară, de industria chimică, de industria medicamentelor și ocrotirea sănătății, poate acoperi cu prisosință investițiile făcute.

De aceea în concepția noastră medicina modernă nu mai poate fi considerată numai ca o artă a vindecării, ci și ca o știință și tehnologie a diagnosticului și terapiei. În realitate cel care se vindecă este însuși organismul viu, prin forțele și interrelațiile sale vitale. Medicul poate să grăbească și să ajute refacerea sau să modifice unele căi și viteze de reacție biologice, ajutor în lipsa căruia forța de refacere a echilibrului inițial al organismului viu ar fi depășită de factorii patogeni sau vindecarea s-ar face greu și cu sechele neplăcute. În acest efort mijloacelor tehnologice le revine un procent însemnat din succesele obținute.

Medicina clasică utilizează concepte și substanțe medicamentoase care, în multe cazuri, sînt depășite sau nefolositoare. Unele sînt chiar nocive pentru evoluția ulterioară a sănătății individului tratat. De aceea investigația

științifică pertinentă trebuie să evidențieze, să semnaleze și să înlăture, conform principiului „*primum non nocere*", tot ce s-a moștenit din iatrogenia veche și care în actualul stadiu al cunoașterii este depășit.

Îndepărtarea relativ bruscă a omului de scara filogenetică care-l leagă de biologia animală a evoluției poate produce urmări greu previzibile atît pentru psihologia umană cît și modificări ale logicii omului asupra relațiilor sale cu mediul înconjurător.

Cunoașterea mai bună a interrelațiilor dintre rezultatele obținute în cercetările din științele vieții și cele din științele fundamentale și tehnologice prilejuiește o corelare mai optimă a deciziilor cu implicații în optimizarea vieții.

În cele ce urmează vom încerca o succintă trecere în revistă a unor domenii care au contribuit activ la rezolvarea unor probleme complexe și vom începe cu matematica, al cărui rol în știință joacă un rol primordial.

Din necesitatea de a cunoaște cît mai exact evoluția unor fenomene biologice, aparatul matematic a fost din ce în ce mai mult propulsat în cercetările biomedicale. Biostatistica și apoi biometria s-au dezvoltat încă de la începutul secolului, dar abia în ultimele trei decenii au cunoscut o adevărată revitalizare. În efectuarea oricărei cercetări, delimitarea volumului investigațiilor, în corelație de timpul de desfășurare și spațiul afectat obiectului cercetării, constituie condiția de bază a veridicității rezultatelor obținute. În majoritatea cercetărilor medicale sau biochimice acest deziderat este ușor realizabil. Sînt însă afecțiuni rare, mai puțin semnificative statistic, care oferă riscul cercetării unui eșantion mic nereprezentativ. Prin metodele statisticii matematice, folosite în biometrie, prin gruparea, selectarea și prezentarea datelor, riscul erorilor este mult mai redus. Folosirea datelor numerice dintr-o investigație permite, prin aceste metode, tragerea unor anumite concluzii, verificarea ipotezei de lucru și planificarea ulterioarelor experimente și observații. Se pot studia astfel mărimi optime ale eșantionului (numărul de fenomene sau cazuri cercetate), dependența dintre acestea, corelațiile între caracterele cantitative a două sau mai multe mărimi. Demografia beneficiază din plin de metodele biostatisticii.

Utilizînd metoda interpolării, estimarea pe grupuri de vîrstă și sex a populației, corectarea ratelor anuale de creștere, cauzele scăderii (sau creșterii) fecundității, fertilizării, natalității, a proporției migrațiilor precum și mortalitatea generală și infantilă, se poate stabili starea de sănătate a populației și speranța medie de viață, ceea ce are implicații deosebite nu numai medico-sanitare, dar și sociale.

În ultimii ani metodele biometriei au fost larg utilizate pentru construirea unor modele de analiză pe calculator, pentru diagnosticarea asistată de computer a anumitor maladii.

Ținînd seama că, de obicei, mai multe simptome sînt comune mai multor boli s-a utilizat studiul numărului maxim de simptome și compararea unor asocieri posibile, cît mai caracteristice unei anumite afecțiuni. S-a ținut seama de corelarea diferitelor simptome folosind metode probabilistice și metode statistice multidimensionale reușindu-se astfel stabilirea „automată" orientativă a diagnosticului. Majoritatea proceselor biologice, putînd fi considerate aleatoare în timp, în prelucrarea datelor teoria proceselor stohastice își găsește o largă aplicabilitate. Astfel, înregistrările bioelectrice (EKG, EEG etc.) variația mărimii unor populații (de indivizi, de celule) în raport cu timpul, analiza unor stimuli la nivelul sistemului nervos, cinetica moleculară sau celulară ș.a.m.d., se pot studia, folosind *lanțurile Markov*, care au și fost utilizate la cercetări asupra creșterii populațiilor, proceselor evoluției, luptei pentru existență, modelului pradă-prădător și a multor altele.

În ultimii ani utilizarea matematicii în biologie a căpătat o și mai mare importanță, biocibernetica și teoria informației fiind un instrument uzual de lucru. Cunoașterea, prin aceste noi căi, a legilor de acțiune a analizorilor și a prelucrării semnalelor din rețeaua sistemului nervos, a condus la aplicații practice, realizîndu-se dispozitive și aparate care pot prelua anumite funcții și înlocui, parțial, unele mecanisme fiziologice deficiente.

Teoria probabilităților este aplicată în genetică la studiul unor legi și fenomene privind ereditatea, la studiul transmiterii informației pe diferite canale în organismele vii, la cunoașterea mai exactă a interrelațiilor între mediul extern și structurile vii.

Metodele biomatematicii, biostatisticii, biometriei au o largă utilizare și în domeniul farmaceutic și mai ales în agricultură și domeniile înrudite, impunîndu-se ca un prețios instrument științific de lucru în evaluarea posibilităților de optimizare în toate aceste direcții.

Studiul sistemelor biologice reliefează aspecte care le sînt caracteristice, un înalt grad de mobilitate internă, neliniaritatea esențială a evoluției lor, echilibrul dintre influența complexă a mediului extern și acțiunea parametrilor intensivi.

Dacă un sistem biologic admite un model diferențial, teoreme matematice existente asigură continuitatea soluției modelului în raport cu parametrii sistemului. Caracterul acestei continuități poate fi însă extrem de complex pentru sisteme cu un număr mare de dimensiuni.

Acest fapt subliniază importanța pe care o capătă modelarea în ordonarea logică a unor sisteme studiate în interacțiune.

Introducerea masivă a matematicii și tehnologiei în medicină a dat noi valențe dezvoltării bioingineriei medicale, ca un aspect esențial în modernizarea medicinii actuale.

Să încercăm în cele ce urmează o trecere în revistă a cîtorva direcții de dezvoltare în bioinginerie.

Bioingineria este, prin urmare, domeniul în care colaborează științele despre viață și științele tehnice, pe baza abordării în echipă a unor probleme legate de corpul uman, în care fertilizarea transversală a ideilor permite cea mai optimă explorare a tuturor disciplinelor utilizate în beneficiul omului. Există o mulțime de formulări cuprinzînd scopul bioingineriei și, de obicei, domeniul este prezentat în mai multe capitole, ele însele conturîndu-se ca ramuri ale științei.

Este important de reaccentuat faptul că cercetarea biomedicală, în practică, trebuie să fie concepută ca un efort depus în echipă.

Începuturile ingineriei biomedicale trebuie căutate în antichitate. Aristotel (384—322 î.e.n.) a scris despre mișcarea animalelor și a încercat să aplice analizele geometrice la aceste observații, Leonardo da Vinci (1452—1519) în *Note asupra corpului uman*, Réne Descartes (1596—1650) în *Tratat asupra omului* și Giovani Alfonso Borelli (1608—1679) în *Mișcarea animalelor*, au explorat acțiunile

corpului uman și a părților sale componente în termeni matematici și mecanici. Acești „iatromatematicieni" au avut continuatori în multe țări. Unii au dezvoltat ideile lor pînă la absurd, ca de exemplu G. Baglivi (1668—1707). El a împins analogia mecanică la întreaga mașină umană, care ar fi alcătuită din numeroase mașini mici cum ar fi perechile de foarfeci (dinții), foalele (pieptul), sistemele hidraulice (inima și vasele), site (viscere și glande), retorte (stomacul). Baglivi, de fapt, a contribuit prin aceste teorii originale, pe care le-a predat studenților lui, în favoarea „diagnosticului hipocratic". Scrierile lui au transmis și format numeroși cercetători și el este autorul a cîtorva maxime din care unele au impulsionat ideatic cercetările.

Există mulți alți exponenți ai acestor discipline tehnologice a medicinei în sec. al XVIII-lea și al XIX-lea. Menționăm cartea *Principii ale mecanicii animale* și de asemenea studiile care au realizat primele imagini fotografice ale mersului la om și animale, folosind o serie de camere acționate simultan și apoi succesiv (înainte de apariția cinematografiei).

În secolul nostru aceste concepte biomatematice mecanice sînt recunoscute pentru importanța lor reală în furnizarea unei înțelegeri a părții, pînă acum neexploatate, a modificărilor la nivelul țesuturilor și corpului uman, ca răspuns la influențele mediului înconjurător.

Problemele din ingineria biomedicală au pătruns treptat și la nivelul clinic inspirînd investigații fundamentale, care au avut ulterior aplicații, paralel cu dezvoltarea tehnicilor și a dispozitivelor. Astfel, cercetarea orientată pentru a intensifica eficacitatea chirurgiei reconstructive a condus la explorarea caracteristicilor mecanice și a răspunsului sarcinii microarhitecturale a țesutului uman.

Chirurgia poate să fie privită, în mod oarecum simplificat, ca o formă a unei construcții avînd țesutul uman ca material. Chirurgii trebuie să cunoască răspunsul macro- și micro- al materialului, pe care acționează în același mod ca și inginerul. Rezultatele cercetărilor concepute pentru asemenea scopuri au arătat că țesutul uman poate să fie descris, din punct de vedere mecanic, ca o substanță neliniară, vîscoelastică. Caracteristicile specifice variază apreciabil între diferitele țesuturi și pentru același țesut, între indivizi comparabili.

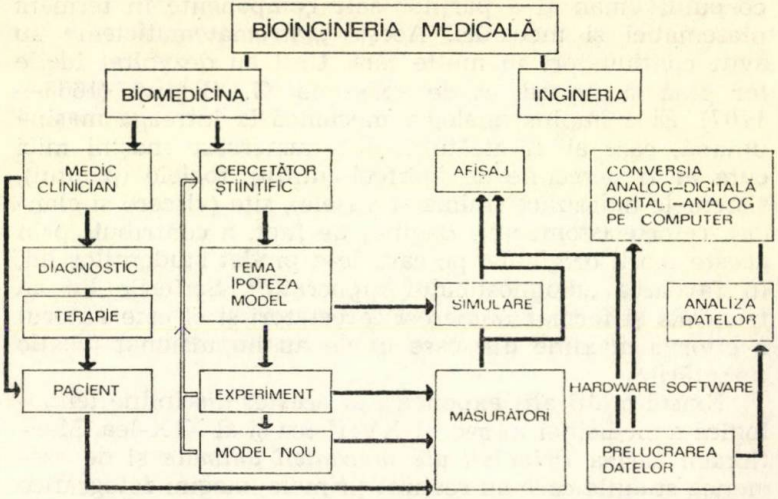


Fig. 2
Schema de interacțiune biomedicină-bioinformatică

În considerarea inginerească a țesuturilor umane ca materiale s-a demonstrat că ele manifestă un anumit răspuns la deformare/sarcină, la nivele macro- și micro-, și prezintă totodată anumite adaptări funcționale. Astfel, este posibil de exemplu să se identifice *in vivo* liniile de extensibilitate minimă din piele, iar funcționarea articulațiilor manifestă caracteristicile mecanice în relație cu microarhitectura aparent orientată pentru a intensifica lubrifierea. Este posibil, în general, să se demonstreze că țesuturile corpului formează o entitate deformabilă, capabilă de transmiterea acțiunilor de sarcină internă și externă, în condiții statice și dinamice. Investigațiile asupra caracteristicilor țesuturilor și corpului au pus în evidență faptul că modificările din variațiile acestora pot să fie folosite ca o bază pentru dezvoltarea noilor tehnici de diagnostic și terapie (de exemplu în obstetrică pentru evaluarea viabilității foetale sau în reabilitare pentru măsurarea capacității de vindecare a mutilaților. În studiul reabilitării o mai bună înțelegere a limitelor capacității umane este de importanță majoră. Tot mai mulți indivizi supraviețuiesc într-o diversitate de condiții ale stării ini-

mii lor, dar care necesită o evaluare obiectivă a limitelor activității ce li se permite. Asemenea evaluări devin operative și înțelese în termenii mecanici ai răspunsului dinamic al corpului, pentru condițiile sporite ale solicitării. O modelare efectivă a corpului uman și a țesuturilor sale permite previziuni demne de încredere, ale răspunsului său la o varietate de condiții din mediu, atît în stare normală cît și în stare de boală. Se evidențiază o compatibilitate corp/dispozitiv.

Refacerea sau reînlocuirea părților vătămate ale corpului și a componentelor lor prin mijloace artificiale a devenit practică curentă. Asemenea aparate-organe sînt deja implantate sau atașate fără să cauzeze, de cele mai dese ori, o incompatibilitate a corpului, a sistemului tisular cu dispozitivul artificial. „Coexistența" poate să fie influențată totuși printr-o varietate de factori. De exemplu un implant care este mecanic mult mai dur decît componenta sa naturală înlocuită va produce suprafețe de presiune mai mari la interfața sa cu țesutul vecin și, astfel, pot să apară reacții tisulare nedorite.

În situația unei reînlocuiri a unui membru inferior sau superior cu un membru artificial, foarte adesea se uită că, la evaluarea cerințelor funcționale, un sistem dinamic viu (corpul) este cuplat cu unul inert (membrul artificial). Ultimul segment este acceptat de corp și în consecință este esențial ca forțele să fie calculate astfel încît să permită persoanei amputate să poată exercita forța necesară pentru funcționarea membrului artificial. Trebuie ținut cont că în configurația membrului artificial ca atare și atașarea lui la corp se va lua în considerare capacitățile proprioceptive (care informează asupra mișcărilor, echilibrului etc.) reziduale ale persoanei amputate. Neglijarea anumitor „patternuri proprioceptive" au condus la utilizarea deficientă a protezelor.

Trebuie reținut că organismul în stare sănătoasă sau în stare de boală este o entitate dinamică și orice implant sau explant conectat la el trebuie realizat avînd grijă de a asigura forța de deplasare continuă în special la interfața corp/dispozitiv. Instrumentația diagnostică și terapeutică acoperă în prezent peste 100 domenii distincte.

Soluția celui mai bun mod de a explora complet acest potențial este dată de caracterul multidisciplinar al activității. Această cerință a legăturii labile și efective dintre

clinician (inițiatorul și utilizatorul problemei) echipa de cercetare multidisciplinară (determinismul rezolvării) și industrie (producătorul-hardware) cere organizare orientată direcționat pentru a asigura strînsa colaborare eficientă și circulația liberă a ideilor între cei trei factori colaboratori. O formă posibilă a unei asemenea organizări conține două legături „sub formă de punte", un laborator de cercetare clinic și o facilitate de dezvoltare (laborator robotehnic-proiectare). Prima interacționează complexul de cercetare medical și multidisciplinar, în timp ce ultima formează o punte între complexul de cercetare și industrie.

În afară de realizarea clinică se pune și problema eficacității comerciale a instrumentației medicale.

Problemele eficacității economice pot fi privite din trei direcții:

1) Problemele pentru care există o soluție parțială, care poate fi aplicată la un moment dat. În asemenea cazuri cheltuielile potențiale sînt stabilizate și, în consecință, orice îmbunătățire conduce la o economisire de fonduri direct identificabilă. Unele economisiri, în special cum sînt costurile de respitalizare pot să însemne sume foarte substanțiale. 2) Problemele în care soluția parțial obținută este disponibilă în prezent pentru o fracțiune mică de beneficiari potențiali. Într-un asemenea caz bioingineria poate aduce îmbunătățiri, lărgind numărul de beneficiari potențiali, economisirea fiind exprimată în termenii continuării vieții umane și a îmbunătățirii stării de sănătate. 3) Problemele în care, în prezent, nu există o soluție disponibilă, dar dacă au fost rezolvate pot să influențeze cheltuiala serviciului de sănătate favorabil sau, temporar, nefavorabil, dar de mare perspectivă în viitor.

A devenit tot mai evident faptul că utilizarea largă a tehnologiilor în medicină creează o situație în care costul potențial al tehnicilor (în prezent disponibile) și a dispozitivelor ce pot fi create amenință să întreacă posibilitățile actuale de investiții. Problema priorităților trebuie să rezolve orientarea resurselor disponibile. Nici chiar națiunile dezvoltate nu pot să-și îngăduie să utilizeze toate posibilitățile tehnologice sofisticate, disponibile în prezent, pentru medicină. În aceste condiții este esențial ca investițiile disponibile să fie orientate către domenii prioritare. O calitate mai bună a vieții constituie o problemă foarte

importantă, iar în sectorul medico-social creșterea longevității devine o preocupare primordială. Procesul de îmbătrînire, caracterizat prin o serie de modificări a funcțiilor organismului, făcîndu-l predispus la tot mai multe accidente, este în centrul atenției mai ales în ultimii ani. O cale potențială a contracarării și corectării acestui proces este înlocuirea prin transplant natural sau implant artificial.

Nu există nici o îndoială că tehnologia va fi și mai intensiv aplicată în medicina deceniilor următoare ținînd seama de cerințele mereu sporite pentru servicii de sănătate și adresabilitatea crescîndă medico-sanitară. În cadrul spitalului aplicațiile pot să fie diversificate după gradul de interes. Iată cîteva exemple:

Instrumente care capătă datele direct de la pacient. Această categorie include întregul domeniu al măsurătorilor fiziologice, incluzînd monitorizarea atît în blocul operator, cît și în supravegherea intensivă. Monitoarele vor fi utilizate și în scop de diagnostic, în combinație cu alte tehnici care utilizează razele X și ultrasunetele. În domeniul diagnosticului, aproape toate măsurătorile făcute de obicei descriu în mod satisfăcător starea pacientului, dar nu dau nici o informație despre posibilitățile de a menține homeostazia. Aceasta poate prezenta variații ce pot fi anticipat cunoscute prin supravegherea automată intensivă.

Monitorizarea la domiciliu, folosind o linie telefonică în legătură cu un spital, face posibilă operativitatea intervenției medicale în cazurile dificile.

După estimările existente, noua „generație" a măsurătorilor primare on-line vor fi mai mult de natură dinamică, dar realizate prin mijloace fizice. Acestea pot interesa de pildă supravegherea continuă privind saturarea cu oxigen, PO_2, variații de *p*H și ale concentrațiilor unor ioni cum ar fi K, Na, Ca, modificarea fiind măsurabilă intravascular sau prin recoltarea automată a unei mici cantități de sînge. În același timp analize semnal vor fi aplicate pentru evenimente periodice cum ar fi respirația, electrocardiograma sau EEG, astfel încît să se extindă valoarea predictivă a evoluției pacientului. O instrumentație modernă cunoaște și biochimia on-line, folosindu-se analizorii automați de laborator, în care viteza de operare este mare, numărul de probe este sporit precum și exactitatea rezultatelor. Un asemenea analizor complex nu va înlocui

laboratorul, dar poate rezolva cunoașterea compușilor a căror concentrație se poate modifica în cîteva minute și unde rezultatele au o valoare imediată în prognosticare. Noile tehnici au un factor comun: sporesc fluxul de informație, ajutînd efectiv actul medical.

Pentru o și mai bună utilizare este necesară o procesare a datelor furnizate on-line. Procesarea datelor poate să fie concepută în două moduri: fie pentru a conduce la decizii imediate (de exemplu, se indică că fibrilația ventriculară, după toate probabilitățile, se produce în cadrul următoarelor două minute) sau poate să fie folosită pentru a etala o transformare fiziologică prezentă în forma care o face accesibilă pentru ca observatorul să facă deducții corecte. Sînt concepute instrumente de laborator care operează pe materialul obținut de la pacient. Aceste instrumente pot fi considerate pe trei direcții principale. Prima se ocupă de analiza lichidelor (sîngele și LCR) care au o mare importanță clinică. A doua direcție privește creșterea unor microorganisme pe medii variate, identificarea și determinarea sensibilității lor la agenții chemoterapeutici. A treia clasă de instrumente tratează probele care în prezent sînt examinate vizual cu un microscop. Lăsînd la o parte prepararea probelor și operațiile simple cum ar fi numărarea celulelor din suspensiile lichide, unde operatorul uman are încă puterea de decizie, cercetarea automatizată utilizează sisteme de recunoaștere a patternurilor care, chiar dacă nu sînt încă la fel de exacte ca a unui operator uman, pot în cele din urmă să prezinte o fracțiune selectivă a numărului total al probelor în care există o probabilitate sporită a găsirii unei anomalii.

Aceste instalații sînt preferate pentru studiul anomaliilor biologice ale celulelor mai cu seamă dacă se consideră coincidența fericită că celulele, care sînt deranjate biologic, sînt ilustrate tehnic diferit în histochimia automată sau în culturile celulare. Cercetarea creșterii anormale a celulelor și anomaliilor metabolice poate fi realizată cu echipamente care realizează recunoașterea patternurilor.

Dacă ne referim la terapeutică, bioingineria joacă un rol important în construirea mașinilor care pot, temporar, să preia funcțiile unui organ. Exemple, devenite clasice, sînt mașinile inimă-plămîni, rinichi artificiali și aparate

laboratorul, dar poate rezolva cunoașterea compușilor a căror concentrație se poate modifica în cîteva minute și unde rezultatele au o valoare imediată în prognosticare. Noile tehnici au un factor comun: sporesc fluxul de informație, ajutînd efectiv actul medical.

Pentru o și mai bună utilizare este necesară o procesare a datelor furnizate on-line. Procesarea datelor poate să fie concepută în două moduri: fie pentru a conduce la decizii imediate (de exemplu, se indică că fibrilația ventriculară, după toate probabilitățile, se produce în cadrul următoarelor două minute) sau poate să fie folosită pentru a etala o transformare fiziologică prezentă în forma care o face accesibilă pentru ca observatorul să facă deducții corecte. Sînt concepute instrumente de laborator care operează pe materialul obținut de la pacient. Aceste instrumente pot fi considerate pe trei direcții principale. Prima se ocupă de analiza lichidelor (sîngele și LCR) care au o mare importanță clinică. A doua direcție privește creșterea unor microorganisme pe medii variate, identificarea și determinarea sensibilității lor la agenții chemoterapeutici. A treia clasă de instrumente tratează probele care în prezent sînt examinate vizual cu un microscop. Lăsînd la o parte prepararea probelor și operațiile simple cum ar fi numărarea celulelor din suspensiile lichide, unde operatorul uman are încă puterea de decizie, cercetarea automatizată utilizează sisteme de recunoaștere a patternurilor care, chiar dacă nu sînt încă la fel de exacte ca a unui operator uman, pot în cele din urmă să prezinte o fracțiune selectivă a numărului total al probelor în care există o probabilitate sporită a găsirii unei anomalii.

Aceste instalații sînt preferate pentru studiul anomaliilor biologice ale celulelor mai cu seamă dacă se consideră coincidența fericită că celulele, care sînt deranjate biologic, sînt ilustrate tehnic diferit în histochimia automată sau în culturile celulare. Cercetarea creșterii anormale a celulelor și anomaliilor metabolice poate fi realizată cu echipamente care realizează recunoașterea patternurilor.

Dacă ne referim la terapeutică, bioingineria joacă un rol important în construirea mașinilor care pot, temporar, să preia funcțiile unui organ. Exemple, devenite clasice, sînt mașinile inimă-plămîni, rinichi artificiali și aparate

de respirație artificială. Temperatura corpului poate să fie controlată prin senzori în mod continuu, iar afectarea produsă terminațiilor senzitive prin anoxie poate să fie rezolvată temporar printr-o instalație de expunere la presiuni variabile ale oxigenului pentru a produce o mai bună oxigenare a țesuturilor care prezintă o aprovizionare defectuoasă cu sînge.

Stimulii electrici de variate tipuri sînt folosiți pentru restabilirea unui ritm cardiac normal. Chirurgul însuși poate să fie dotat cu instrumente mai eficiente (bisturiul electric sau laser) ce incizează, cauterizează și sudează țesuturile.

Toate instrumentele amintite sînt continuu îmbunătățite. Viteza sporită a progreselor din domeniul medical se datorește contribuțiilor cercetătorilor din afara domeniului clinic și rolului pe care îl joacă microelectronica în crearea unor noi echipamente utilizate în diagnostic, terapeutică și cercetare. Iată încă cîteva exemple ale contribuției bioingineriei în cardiologie: utilizarea computerului pentru monitorizări și supravegherea aritmiei pacienților din unitățile sanitare de urgență, instalații care detectează automat și clasifică tulburările de ritm în șase categorii (de la bradicardie la stopul cardiac), realizînd alarme sonore diferențiate în funcție de gravitatea formei aritmiei și urgența intervenției necesare, avînd o eficiență deosebită pentru un mare număr de bolnavi și eliberînd personal uman de supraveghere. În aceste sisteme complexe sînt stocate automat informații comparative ale modificărilor succesive ale morfologiei electrocardiogramei, precum și pentru recunoașterea artefactelor posibile. Acest complex computerizat poate fi folosit ca preparator sau interfață pentru sisteme și mai sofisticate, care fac analize ulterioare ale datelor, pentru evidența evoluției în timp a tulburărilor patologice ale fiecărui pacient și prelucrarea de date utilizate ulterior în cercetarea biomedicală. Într-o astfel de instalație complexă se pot efectua monitorizări ale unor parametri extrem de diferiți. Astfel, în afara analizorului ECG și micrografului sînt incorporate un stimulator cardiac extern, miniaturizat, un stimulator cardiac (proiectate pentru a fi purtate pe braț), avînd baterie cu polaritate reversibilă și un sistem de alarmă pentru uzură. Menționăm în plus un regulator cu program pentru depistarea și supravegherea cheagurilor

sanguine și determinarea fragilității hematiilor și plachetelor (trombocitelor), aparat care măsoară continuu fragilitatea hematiilor, variația plasmatică, viteza de aglutinare a globulelor roșii, viteza de agregare trombocitară, timpul de coagulare, timpul de fibrinoliză. Se poate adăuga un sistem de dializă care furnizează controlul semiautomat al fluidului analizat din rinichiul artificial ce poate fi legat în paralel, menținînd caracteristicile impuse pentru fiecare bolnav internat, sau poate îngloba date teleprelucrate de la pacienții care fac tratament la domiciliu. Pot fi folosite unități compacte și unități de serviciu cuplate la monitor, care controlează secvența dializelor și unităților de furnizare a dializei.

Există, de asemenea, serii de detectori ai funcțiilor vitale care detectează instantaneu dinamica respiratorie, fibrilațiile ventriculare, tahicardia, bradicardia, detectori ce pot fi plasați imediat pe pieptul bolnavului, economisind timpul necesar pentru a conecta instalația ECG la pacient. Analizorii funcțiilor pulmonare măsoară și capacitatea vitală forțată și volumul expirator rezidual și forțat, avînd un sistem digital de citire. Un defibrilator portabil robust este utilizat în cazurile de urgență, pulsurile de defibrilare putînd fi monitorizate, iar deconectarea electrozilor de conducere făcîndu-se automat, după defibrilare. Instalația complexă mai cuprinde și un instrument pentru depistarea electronică a calculilor vezicali, prevăzut cu un citoscop cu diatermie și irigare rotativă, ghidat de fibre optice, un capacitor de golire, de inductanță joasă, ce produce mici descărcări electrice deasupra pietrei (calculilor) pe care îi fărîmițează.

În cazul monitorizării pe termen lung este posibilă schițarea unor suprafețe țintă pe ecran, alertîndu-se specialistul, atunci cînd apar puncte în afara suprafeței de control, pentru a putea interveni. Cu ajutorul acestor instalații complexe se pot efectua studii ale efectelor medicamentelor introduse și tendințelor de răspuns ale organismului la modificările apărute. Patternurile realizate pot fi analizate pe un sistem de diagrame pe axe verticale și orizontale ale dinamicii datelor direct sau folosind memoria monitorului. Se pot face comparații între stările succesive sau a evoluției cazului observat.

Utilizînd un injector intravenos modernizat (purtat de pacient) se pot realiza infuzii continue de medicamente

pentru reglarea homeostaziei (heparina, antibiotice sau antiaritmice de pildă). Procesarea semnalelor fiziologice, a potențialelor de acțiune nervoasă, realizate instantaneu, dau o largă accesibilitate la informațiile diversificate din timpul evoluției procesului patologic. Utilizarea unui „recorder" fiziologic cu mai multe canale (avînd un tub de raze catodice și un înregistrator pentru trasarea de grafice) se aplică cu succes în diagnoza pentru investigații clinice neinvazive (fonocardiograme, pulsuri carotidiene, ECG, studiul curbelor de diluție, gradienți de presiune) avînd o largă arie operațională în chirurgie pe cord deschis. Datele vitale afișate sînt simultan controlate printr-un robot cu interfață de fibre optice și mai mulți moduli amplificatori, capacitatea recorderului putînd fi extinsă pe mai multe canale. Este posibilă studierea funcției globale a inimii (în special modificările dintr-un output cardiac) cu ajutorul unui analizor, folosind o tehnică ultrasonică neinvazivă, care măsoară și etalează viteza sîngelui prin arcul aortic, funcțiile inimii fiind recunoscute după aspectul înregistrării. Caracteristicile undelor care se transmit, anomaliile lor pot ilustra cardiopatii obstructive, pericardite și stenoze aortice și chiar alterări ale dinamicii sanguine în alte vase principale, ca de pildă ale arterei pulmonare. În studiile privind celulele s-au realizat pînă acum cataloage ale tipurilor celulare, ale unor variante de celule, cataloage ale proceselor biologice și biochimice ale metabolismelor diferitelor tipuri de celule, studiul interacțiunii dintre celule și mediul înconjurător, studiul parametrilor semnificativi din mediu care afectează viabilitatea celulară și crearea unor teste de evaluare a acestor acțiuni, determinarea pragurilor unor factori letali, modele ale acțiunii unor factori nocivi, tehnici de separare celulară etc. De asemenea au fost studiate transportul energetic și procesele de transfer în structurile biologice, efectele temperaturii asupra viabilității celulare, modificări criobiologice în structura tisulară, modificările induse de unii factori chimici la nivelul celular și subcelular. În cardiologie au mai fost realizate modele ale acțiunii ventriculare și atriale. Studiindu-se dinamica fiziologiei cordului s-au obținut modele de control cardiovascular, în diferite situații. Modele de control postural, simulări ale sistemelor senzorio-motoare, simularea proceselor de conducere și informare în sistemul nervos, con-

trolul presiunii intraoculare, reglarea volumului și compoziției fluidelor circulatorii (sînge, limfă), modele ale efectelor drogurilor și medicamentelor, studiul computerizat al eficienței plămînului și rinichiului artificial ș.a. au fost în mod deosebit studiate în ultimii ani.

Programele de bioinginerie joacă un rol deosebit în dezvoltarea medicinii moderne. Folosirea specialiștilor de profil în diagnosticul asistat de calculator sau în procedurile preventive și terapeutice implică creșterea rolului practicienilor și a specialiștilor în toate sectoarele publice. Deoarece costul unor eficiente programe de inginerie medicală este deosebit de ridicat, eliberarea unor fonduri folosite în industria militară și-ar găsi o largă utilizare în creșterea masivă și rapidă a progresului tehnologic biomedical. În mod deosebit ar beneficia aspectele privind sistemele de control biologic, instrumentația diagnosticului și computerizarea terapiei, organele interne artificiale, prelucrarea imaginilor, recunoașterea de forme și tehnicile de endovizualizare, microsisteme de monitorizare și asistență, monitorizarea complexă chirurgicală, analiza sistemelor fiziologice, protezarea scheletală, cercetarea și utilizarea biosenzorilor, grefe și înlocuiri de organe, telediagnosticul și programele regionale și asistență medicală neuropsihiatrică, cercetarea în ingineria genetică și ingineria subcelulară și, implicit, problemele de învățămînt și formare a cadrelor.

Este necesară pregătirea unor cadre inginerești legate prin specificul activității lor de domeniul medical. Astfel, unii ingineri biochimiști ar putea deveni experți în probleme de metabolism, ingineri electroniști în neurofiziologie, specialiști în dinamica fluidelor pot ajuta fiziologia cardiovasculară, iar inginerii de sistem pot contribui la organizarea și automatizarea asistenței medicale, după cum se pune și problema inversă a unei specializări a medicilor în unele profile inginerești. De pildă: un chirurg ortoped poate aprofunda biomecanica, un diagnostician — matematica, un radiolog — fizica radiațiilor. Se naște, astfel, într-o primă etapă, necesitatea specializării unor fizicieni, ingineri, matematicieni și medici în domenii colaterale ale bioștiințelor și alcătuirea unor echipe mixte de colaborare. În următorii ani, de pildă, în explorările curente medicale vor intra explorările cu ajutorul laserului. Acceleratoarele de particule, camerele cu pozitroni, minia-

turizate, vor intra în utilarea de bază a marilor spitale pentru terapia anumitor afecțiuni. Ultrasunetele, în special ecografia, vor constitui mijloace curente de investigație, în special, pentru explorarea țesuturilor profunde, a maselor celulare mari, a tumorilor, pentru vizualizarea structurilor cardiace, hepatice, splenice și urmărirea dezvoltării foetusului. Tehnici bazate pe *efectul Doppler,* puse la punct încă de pe acum, vor evidenția cu mai mare precizie starea de sănătate a tuturor organelor și structurilor străbătute. Multisonde care permit un rapid baleiaj vor studia structuri în mișcare, urmărind tulburările fiziologice ale anumitor organe, fapt ce va duce la progrese nebănuite astăzi în bolile sistemului circulator, ale vaselor și ale sîngelui. Tehnici noi de impedanță tisulară vor stabili alterări ale homeostaziei locale și generale sau diferențe ale unor funcții, comparativ la mai multe organe și țesuturi organizate. Medicina nucleară, aflată în prezent în plin avînt, va contribui mai mult la diagnosticul și terapia medicală. Serviciile de radiologie vor beneficia de integrarea unui sistem de radioprotecție (analizor raze X, sistem de recunoaștere de forme și computer) ceea ce va aduce economii mari și o mai bună securitate în utilizarea radiațiilor Röentgen, pentru medic și pentru bolnav. Amplificatoare de imagini și sisteme color vor lărgi aria de utilizare în clinică și învățămînt, iar teleghidarea și miniaturizarea aparaturii va da posibilitatea culegerii datelor de la distanță în cazuri deosebite. Videoscopii perfecționate permit înregistrarea și păstrarea unui imens număr de imagini pe suporturi puțin costisitoare, ceea ce va însemna un enorm pas pentru progresul cercetării științifice și a supravegherii bolnavilor.

Conversia electronică a imaginii permite transformarea acesteia în valori numerice cu care se pot efectua ulterior orice măsurări asupra nuanțelor imaginii care depășesc posibilitatea recepționării și descifrării nuanțelor de gri (în număr de 22 pentru ochiul omenesc). Această numerizare permite compararea dinamică a unor porțiuni ale imaginilor luate în momente diferite și recompunerea lor pentru vizualizare. Imaginile seriate tomografice vor fi în viitor analizate cu mare acuratețe de calculatorul electronic. Utilizarea dozelor slabe de ioni grei, care străbat corpul omenesc, permite obținerea unor imagini interioare în trei dimensiuni, metodă ce cunoaște importante

perfecționări în prezent și constituie o cale eficientă în arsenalul terapeutic, în special în oncologie.

În primul deceniu al mileniului următor, utilizarea curentă a rezonanței magnetice nucleare va da posibilitatea unor multiple analize chimice ale unor microstructuri chimice din organism, furnizînd informații asupra variațiilor din structura chimică a unor celule, ceea ce va duce la biopsii neinvazive, diagnosticînd eventualele precancere, și elucidînd comportamentul biosenzorilor. Tomograful cu emisie de pozitroni, care realizează explorări de finețe a creierului, prin detectarea radiațiilor emise în funcție de trecerea sau localizarea lor în structurile cerebrale, vizualizează activitatea electrică și metabolică și dă posibilitatea controlului unor funcții în vederea neurodiagnosticului rapid, în faze incipiente, a unor afecțiuni.

O altă direcție importantă care se dezvoltă impetuos în ultima vreme este bioingineria instrumentației și biomaterialelor.

Studiul proprietăților chimice ale materialelor biocompatibile este un exemplu care beneficiază de cercetarea interacțiunilor fundamentale țesut-implant (care cuprinde cercetarea mecanismelor chimice, fizice și biologice ce determină interacțiunea cu țesutul viu învecinat și cu fluidele organismului). Un sprijin adițional este furnizat de cercetările de biomecanică cu accent pe caracteristicile comportamentului tisular) precum și prin dezvoltarea cercetării la nivel molecular și biochimic în vederea unei cît mai bune înțelegeri a determinanților proprietăților țesuturilor.

Dezvoltarea instrumentației pentru aceste scopuri este deosebit de importantă, atît în ceea ce privește cercetarea fundamentală, cît și pentru măsurătorile și experiențele clinice. Noua instrumentație creată este destinată furnizării unor informații care să contribuie la soluționarea problemelor științifice ce nu pot fi abordate cu succes prin tehnicile disponibile. De pildă, în monitorizarea pacientului se pot utiliza noi montaje pentru achiziționarea unui mare volum de date asupra mai multor parametri, integrarea acestor date, prelucrarea și păstrarea lor în memorii artificiale. Procesarea informației, după aplicarea tehnicilor de determinare a parametrilor necesari pentru îmbunătățirea stării de sănătate a pacientului, conduce și la o

îmbunătățire a condițiilor medico-sanitare folosind bazele de date.

Se preconizează și a intrat în practica curentă bioinstrumentația neinvazivă, cum este de pildă metodologia ultrasonică, ce furnizează caracterizări cantitative ale structurilor tisulare normale și patologice sau utilizarea calculatoarelor pentru simularea unor procese, calculatorul avînd un rol de instrument principal.

Identificarea unor noi domenii de cercetare corespunzătoare aplicării tehnologiei moderne poate fi utilizată de exemplu prin:

— modelarea matematică a perfuziei tisulare, a transportului și a reacției de transfer al masei între microcirculație și țesuturi. Modelele continui sînt necesare pentru a descrie efectele interactive ale perfuziei tisulare, transferul diluției sînge-țesut, transportul interstițial și intercelular și metabolismul soluțiilor în regiunile tisulare de mărime macroscopică. Acest domeniu are importante aplicații pentru situații cum ar fi înțelegerea relației dintre răspunsul chemotactic al celulelor sîngelui și dinamica injecțiilor tisulare, stabilirea schemelor chemoterapeutice optime, înțelegerea modificărilor schimburilor gazoase transcutanate ca o condiție indispensabilă pentru dezvoltarea tehnicilor de monitorizare neinvazive a gazelor din sînge și stabilirea parametrilor pentru modelarea farmacocinetică;

— sisteme de detecție integrate (de feed-back și sisteme de control), ca o aplicație a analizei sistemelor fiziologice, sînt în curs de implementare.

Există preocupări pentru aplicarea metodelor din bioinginerie pentru identificarea sistemelor de estimare a parametrilor mai puțin accesibili, cum ar fi contractilitatea miocardică sau variațiile bioelectrice în sistemul nervos autonom, precum și urmărirea stării psihomotorii.

Instrumentația utilizînd metode neinvazive, pentru urmărirea variațiilor normale sau modificările patologice ale unor parametri biologici ai pacientului, este esențială pentru minimizarea riscului, sporirea acceptabilității sau reducerea artefactelor procedurilor din actul medical. Capacitatea de a măsura fluxul local de sînge sau perfuzia în diferite organe constituie un exemplu de măsurători pentru care o tehnică neinvazivă va fi foarte valoroasă. De pildă, folosirea zeugmatografiei, o metodă de măsurare

a scurgerii, bazată pe rezonanța magnetică nucleară, poate să facă posibilă măsurarea fluxului de sînge cerebral (fără interferența cu craniul și structurile tegumentare) și fără expunerea pacientului la proceduri supuse hazardului.

Organele hibride sintetic-biologice sînt un alt exemplu de interes biotehnologic. Anumite funcțiuni ale organelor naturale implică acțiunea mediată a unor enzime specifice complicate și bine puse la punct pentru care experimentele sînt realizabile cu tehnologiile cunoscute. Dezvoltarea organelor prostetice bazate pe culturile tisulare (în mod corespunzător protejate de fenomenul de rejecție), capabile de schimburi cu fluidele corpului, oferă o importantă direcție de abordare pentru suplinirea unor funcții ale unor organe cum ar fi pancreasul sau ficatul. Înmulțirea acestor aplicații, necesită cercetări în domeniul fenomenului de transport, dezvoltarea tehnologiilor materialelor și a cineticii chimice.

Perfecționarea instrumentației și a tehnicilor analitice pentru investigațiile fizico-chimice fundamentale din biologia celulară, abordate prin studiile fenomenelor de transport de suprafață și dinamicile populaționale ale celulelor vii, vor completa eforturile existente în înțelegerea unui număr de fenomene implicînd interacțiunea celulă-celulă și celulă-suprafață și supraviețuirea populației celulare. Acestea, la rîndul lor, sînt elemente importante în înțelegerea răspunsului imun la controlul infecției, a fenomenului de rejecție și așa-numitele „încarnări tisulare" de pe materiale prostetice. Cunoscînd ambele fenomene de intercomunicare celulă-celulă și celulă-mediu se pot iniția noi metode terapeutice.

Dezvoltarea cercetării privind organele de simț, cum ar fi, de pildă, refacerea deficitelor de vedere și auz, reprezintă o nouă direcție interesantă în evoluția preocupărilor tehnico-științifice despre organele artificiale. Nu numai că există nevoia de a perfecționa detectorii de semnale (prin configurații miniaturizate corespunzătoare), dar de asemenea se subliniază necesitatea de a elibera aceste semnale pentru creier prin conexiunile corespunzătoare din sistemul nervos.

Mai mult se dezvoltă cercetări în domeniul protezării nervului, sistemului de control hormonal, controlul neurologic al hipertensiuinii etc.

Nivelul de expertiză cerut și cerințele de echipament specializat sugerează că va exista un beneficiu semnificativ în cazul eforturilor coordonate pentru dezvoltarea tehnicilor și a echipamentului pentru analiza complexă a biofluidelor. Fenomenul vîscoelastic, comportamentul de relaxare și de forfecare, induc modificări în activitatea enzimatică, în configurația moleculară și în cinetica biochimică furnizînd informații asupra proprietăților celulare din stările normale și de boală.

Instrumentația și metodologia pentru studiul interacțiunii materialului sintetic și al țesutului biologic constituie un domeniu deosebit de important al investigațiilor biotehnologice, întrucît factorii de limitare din dezvoltarea dispozitivelor prostetice și a programelor artificiale ridică adesea probleme dificile cauzate de incompatibilitățile materialelor (de exemplu: eroziunea tisulară sau necrozele, inflamația, septicemia, absorbția de toxine de la materialele sintetice datorate absorbției fluidelor biologice). Coordonarea sistemului ce interacționează (material sintetic/sistem viu) necesită analiza proprietăților materialelor, în special a proprietăților suprafeței, în înțelegerea relațiilor acestor proprietăți pentru configurația moleculară și constituenți celulari din vecinătatea suprafeței.

Există un interes sporit în aplicarea unor noi sisteme pentru administrarea medicamentelor, căi mai selective, mai efective și mai flexibile decît dozele orale sau injecțiile.

Noile soluții pentru a furniza distribuiri de medicamente constante și continue folosesc pompe osmotice implantate sau pompe furnizatoare de vapori, soluții saturate de medicamente legate de membranele de permeabilitate controlabilă, rezervoare cilindrice elastomerice, utilizarea ultrasunetelor etc. Acestea trebuie să fie capabile să distribuie medicamente reducînd dozajul cerut cînd este cazul și controlînd doza prin monitorizarea on-line a pacientului.

Un domeniu de mare interes pentru medicina clinică și pentru ingineria transplantelor îl constituie biomaterialele.

După cum știm prin biomateriale se înțelege în general materialele utilizate pentru fabricarea unor piese biologice implantate la om, ele putîndu-se clasifica în trei categorii: metale și aliaje, ceramici și polimeri și sînt utili-

zate în vederea substituirii unor țesuturi moi sau dure. În momentul actual cercetările legate de biomateriale sînt în plină dezvoltare, încercîndu-se înlăturarea unor neajunsuri în special privind interacțiunea materialelor cu mediul biologic. Apar curent reacții inflamatorii ale organelor, coroziunea sau degradarea materialelor antrenînd migrarea anumitor constituenți ce pot fi toxici sau apar alterări ale proprietăților mecanice. Materialele în contact cu sîngele pun problema compatibilității. Biocompatibilitatea, adică adecvarea între implant și mijlocul său de inserție, trebuie să fie evaluată aprioric pe modele *in vitro* sau *in vivo*. Utilizarea materialelor fabricate pentru implantarea la om în vederea înlocuirii temporare sau definitive a unei structuri biologice determinate (ca urmare a unui accident sau a unei boli) a apărut de foarte mulți ani. Astfel, prima reparație a unei fracturi osoase cu ajutorul unei piese metalice se pare că a fost realizată de Icart în 1775. În 1880, fiziologul și chirurgul englez Joseph Lister a realizat cu succes sudura unei rotule fracturate cu ajutorul unui fir de argint. Prima evaluare a biocompatibilității materialelor apare o dată cu lucrările lui Zicvold pe cîini, în care se susținea că aliajele cobalt-crom sînt cele mai bine tolerate. Vitallium, aliajul de cobalt-crom și molibden, pentru uz dentar, a apărut în 1939 (Smith-Peterson).

Adevărata expansiune a materialelor folosite pentru implantare apare după cel de-al II-lea război mondial, o dată cu dezvoltarea chirurgiei, a bioingineriei și a apariției polimerilor.

Pentru înlocuirea vaselor sanguine, care inițial se făcea cu tuburi de aluminiu și de sticlă acoperite cu parafină (încă din 1912), se utilizează apoi tuburi de metacrilat polimetil (1947), tuburi în țesut plastic-vyvion (1952) și, în fine, protezele arteriale din Dacron.

Organele artificiale au progresat de la primii rinichi artificiali, studiați în 1913 de medicii americani Aber și Turner, pînă în 1944 cînd J. Kolf introduce primul echipament clinic utilizabil. De asemenea considerăm că inima și plămînul artificial se înscrie în prelungirea echipamentelor de perfuzie, dezvoltate de Frey și Gruber în 1885, iar în 1955 apare prima aplicație clinică.

Materialele ceramice, deși figurează printre cele mai vechi materiale artificiale descoperite, abia în 1960 sînt

evaluate ca posibilități de implantare. Numărul de biomateriale și de aplicații este în prezent considerabil. Problemele fizice, fizico-chimice, biologice pe care le ridică construcția și utilizarea lor sînt deosebit de complexe și nu în totalitate rezolvate. Să analizăm succint cele trei categorii de materiale utilizabile, începînd cu metalele și aliajele, care la rîndul lor sînt cuprinse în trei categorii și anume: oțeluri inoxidabile, titanul și aliajele sale și aliajele pe bază de cobalt și crom. Dintre oțelurile inoxidabile cel mai des utilizat este AISI 316 a cărei compoziție cuprinde crom 17—20%, nichel 10—24%, molibden 2—4%, fier. Proporțiile de carbo-siliciu, mangan, sulfuri, fosfor sînt inferioare proporției de 1%. Modificările acestei compoziții au efecte asupra proprietăților mecanice și rezistenței la coroziune a acestor materiale. Aliajele de titan sînt excelente componente ale implantului, dar fiind dificil de obținut, se utilizează aliaje de aluminiu-vanadiu și mangan. De asemenea aliajele cobalt-crom au proprietățile mecanice a celor de oțel și sînt utilizate în mod curent. Ceramicile, clasificate și ele în ceramici inerte, biodegradabile și bioactive, se dezvoltă ca utilizare din ce în ce mai mult. Ceramicile inerte cu porozitate ridicată sînt folosite pentru a ușura creșterea tisulară după implantare, ceea ce permite sudarea și fixarea implantului pe țesuturile vecine. Ele conțin substanțe oxidoceramice ca de pildă Al_2O_3, MgO, ZnO_2 care sînt produși termodinamici slabi și stabilesc o aderență perfectă cu suprafețele de contact.

Ceramicile biodegradabile fosfocalcice sînt resorbite fără a provoca reacții tisulare, fiind urmate, de obicei, de o proliferare a țesutului osos, care se substituie ceramicii, dar datorită rezistenței mecanice mai mici nu pot fi utilizate decît la elementele osoase care nu sînt supuse unor sarcini prea mari.

Ceramicile bioactive, fosfotricalcice, cu structură densă, stabilesc legături cu țesutul osos adiacent în anumite condiții. Sub acțiunea unei presiuni de suprafață apare un strat de legătură ce joacă rol de barieră de difuzie a ionilor de la implant la țesut.

Polimerii sînt folosiți datorită proprietăților lor fizice și chimice printre care: caracterul noncoroziv, diversitatea condiționării pregătirii sub formă de paste solide, sub-

stanțe uleioase și prezintă analogii cu structurile biologice. Utilizarea lor este limitată însă de slabul nivel de elasticitate și indicele vîscoelastic, precum și de polimerizarea incompletă care antrenează riscul biodegradabilității. Polimerii constituiți din lanțuri lungi moleculare, elastomeri, îndeosebi siliconi, datorită proprietății lor de reversibilitate a elongației structurilor lor reticulare, au o largă răspîndire ca biomateriale. Materialele plastice, termoplastice și termorezistente, cum ar fi rășinile epoxy, sînt utilizate pentru fabricarea unor membrane poroase, iar celofanele, polipropilenele, acetatul de celuloză, alcoolii polivinilici sînt utilizați ca membrane hemodializoare.

În ultimii ani au fost puse la punct metode de utilizare a polimerilor pseudonaturali și a polipeptidelor sintetice, materialele provenind din țesuturi sau componente tisulare tratate chimic ce acoperă polimeri sintetici în vederea ameliorării tromborezistenței. Polimerii utilizați sînt adesea poliuretani și unele cauciucuri naturale (latex). Referindu-ne la copolimerii sintetici ai aminoacizilor și derivaților de aminoacizi, hemocompatibilitatea optimă o prezintă materialele cu o mare aderență pentru plachete și leucocite. Să reținem deci aplicațiile curente ale biomaterialelor:

— substituirea țesuturilor moi. Dezvoltarea polimerilor sintetici a contribuit la succesul substituției țesuturilor moi, cel mai utilizat fiind siliconul sub forma unor filme, a unor bureți, a unor gume elastice sub formă lichidă sau pastă. El interacționează cu componentele sanguine, absoarbe colesterolul și lipidele, inițiază adeziunea plachetară și favorizează procesele formării cheagurilor. Hemocompatibilitatea pune probleme particulare în special pentru materialele destinate structurilor, pentru bioaderenți, pentru materiale de protezare maxilo-facială și implantele în contact cu sîngele.

În ceea ce privește suturile absorbabile sau neabsorbabile, materialele se prezintă sub formă de unifilamente sau multifilamente. Cele sintetice (nylon, polietilenă, polipropilenă) pot da uneori mici reacții locale. Bioaderenții, utilizați în noua metodă de înlocuire a sudurii prin lipire, acționează prin crearea unor legături chimice cu substratele pe care le leagă. Dintre cei mai utilizați amintim akil-

cianoacrilatul, poliuretanii și complexul gelatină-resorcinol, reticulat prin formaldehidă.

Materialele folosite pentru realizarea pielii artificiale, în vederea protecției temporare în cazul arsurilor grave, trebuie să adere pe suprafețe mari pentru a preveni deshidratarea și pierderea electroliților pînă la cicatrizare. Metodele cele mai utilizate sînt auto- și hemogrefajul. Polimerii de clorură de vinil și acetat sau metil-2-cianoacetat au fost utilizați cu succes.

În realizarea protezelor maxilo-faciale și mamare sînt utilizați curent polymetilmetacrilații, siliconii, poliuretanul, asociați cu materiale metalice cu tantal sau vitalium. În categoria implantului în contact cu sîngele: protezele vasculare, valvulele cardiace, dispozitivele de asigurare a circulației temporare, utilizarea de rinichi artificiali se pune problema înlăturării efectelor trombogene. Natura și geometria implantului modifică viteza de creștere a stratului nou format, în care fibroblastele se substituie fibrinei realizînd o intimă vascularizație nouă. Performanțele hemodinamice sînt, de asemenea, îmbunătățite în funcție de calitatea bioprotezelor. Problemele substituirilor în oftalmologie (lentile, corp vitros) se pun în termeni asemănători. Substituția țesuturilor dure interesează repararea oaselor lungi, a articulațiilor și odontologia, și utilizează, în general, metale și aliaje. Se folosesc, de asemenea, polietilenă de mare densitate asociată cu aliaje cobalt-crom sau oțel inoxidabil, îndeosebi la protezele articulare ale coapsei. Amestecuri conținînd argint sînt curent utilizate în odontologie ca și ceramicele și Al_2O_3 (pentru implante dentare). Răspunsul tisular la implantul unei proteze este o problemă importantă de biocompatibilitate care depinde de compoziția chimică și de caracteristicile fizice ce pot varia în funcție de locul de inserție și se traduce cel mai adesea printr-o ușoară inflamație, urmată de o perioadă de cicatrizare. Oboseala și uzura, în special a protezelor articulare și valvulare, e grăbită de acțiunea mediului biologic care acționează diferit în funcție de locul implantării și de materialul implantat. Este, de aceea, recomandabil să se poată estima, înaintea implantării, materialul cel mai adecvat destinat scopului dorit. În acest fel, numeroase teste de evaluare au fost puse la punct. (Se face apel, ca referință, la materialele mai vechi asupra cărora există date privind toleranța la implantare). Testele

privesc patru grupe de date: evaluarea rezistenței mecanice și la oboseală, rezistența la coroziune și degradare, toxicologia locală și generală, hemocompatibilitate.

Cercetările biotehnologice recente subliniază două lucruri esențiale. Practic pînă în prezent nu a fost elaborat încă în nici un domeniu de aplicare un biomaterial real, optim și satisfăcător, și nu există o metodă de evaluare completă și sigură a performanțelor a acestor materiale. Nu posedăm încă cunoștințe precise asupra mecanismelor de interacțiune între materialele implantate și mediul biologic, în special între sînge și suprafața implantului. Este unul din domeniile larg deschise cercetărilor interdisciplinare.

În aplicațiile medicale (înlocuiri de organe, ca de pildă pancreasul artificial) în chirurgie (suturi, materiale de protecție), în domeniul farmaceutic (activare, întîrziere sau eliminare) se solicită aplicarea unor biomateriale care trebuie să permită individului purtător de implant o reinserție în viața normală și activă.

Omul este un sistem alcătuit din subsisteme funcționale, fragile ca mecanisme vitale.

Servituțile genetice induc constrîngeri biologice multiple și antagoniste, modelează condiția umană la dimensiuni noi. În lupta pentru supraviețuire, înlocuirea cu piese artificiale a unor funcții sau substrate morfologice deficiente constituie o arie de larg interes pe care omul o acceptă ca una din soluțiile prelungirii existenței sale. Pași importanți în cercetările de bionică și radiobiologie se înscriu în acest context.

Multe ipoteze și modele declanșate de dezvoltarea bionicii au provocat o efervescență de idei în cercetarea biologică modernă, idei care au dus la un lanț de descoperiri importante.

Putem constata că, începînd cu deceniul V-lea al acestui secol, schimbul reciproc de informații între diferite ramuri ale științei au dus la apariția unor discipline perechi complementare: fiziologia cu electronica, biologia cu fizica, cibernetica cu tehnica comunicațiilor, radioterapia cu fizica particulelor, medicina nucleară cu fizica atomică, medicina dentară cu mecanica de precizie etc.

Studiile întreprinse în domeniile noi ale tehnologiei, făcute cu deosebită finețe și atenție, au la bază faptul că

omul devine subiectul de aplicare a acestor tehnici, iar medicul și biologul utilizatorul lor.

În cadrul acestor aplicații subiectul joacă cînd un rol activ al unui generator, de pildă pentru potențiale electrice (cardiace, musculare, cerebrale), cînd rolul pasiv al unei rezistențe terminale pentru unele generatoare, cum ar fi aparatele ce utilizează curenți de excitație de tipul stimulatoarelor cardiace implantate sau a aparatelor terapeutice cu unde scurte, decimetrice sau joase.

Din multitudinea combinațiilor de idei și observații au luat naștere modele experimentale a căror rezolvare a avut consensuri aplicative de prim ordin. În prezent, cercetarea oricărei idei noi care nu implică investiții deosebite trebuie să fie nu numai salutară, dar și începută și realizată.

Dintre ideile a căror importanță este de primă-mărime, și despre care considerăm că nu a fost încă abordată la nivelul importanței ei, efectul bioluminiscenței și al bioelectricității constituie un domeniu în care ar putea avea loc numeroase descoperiri de o reală importanță.

În privința emisiei luminoase a diferitelor țesuturi sau entități vii s-a emis, printre altele, ipoteza că această lumină este rezultatul unui excedent energetic eliberat de moleculele vii în cazul furnizării energetice, metabolice în exces. Astfel această emisie ar constitui o supapă care salvează unele molecule de încărcări energetice suplimentare și păstrează echilibrul și prosperitatea celulară.

Încă din 1920 s-a intuit că „fluxul luminos este purtător de informații, că este semnalul care declanșează diviziunea celulelor vecine și care determină chiar programul codificat al viitorului lor apropiat". Numeroase experiențe făcute de atunci au confirmat în bună parte aceste idei. Acestea, printre altele, l-au determinat pe Guberman să afirme că bionica, care în stadiul actual se mulțumește să studieze mecanismul unor „unități de viață" pentru a contura aplicații practice, poate găsi în aceste cercetări brevetul unor mecanisme de producere a luminii, consumînd o energie minimă și dînd un randament formidabil precum și tehnici de comunicații foarte miniaturizate. Cercetările în domeniul bioluminiscenței prezintă un deosebit interes în special pentru citologie, unde au fost întreprinse deja cercetări asupra fotoluminiscenței celulelor și țesuturilor (fotoluminiscența aminoacizilor aroma-

tici, a proteinelor și acizilor nucleari, a coloranților puri sau legați de biopolimeri). S-a studiat luminiscența clorofilei și chimioluminiscența sistemelor enzimatice celulare. Au fost puse la punct metode de apreciere cantitative ale componentelor proteice prin UV-luminiscență și a hormonilor ciclici din substrate biologice prin fluorescență.

Există un început al aplicării microscopiei luminiscente în cercetările radiobiologice care folosesc coloranții fluorescenți sau fluorescența proprie a celulelor pentru a determina modificările normale sau induse de radiații la nivelul elementelor figurate din măduva osoasă, din sîngele periferic sau alte țesuturi radiosensibile. La animalele iradiate au fost semnalate abateri importante de la normal, modificări care au persistat și la 16 ani după iradiere, aceasta relevînd importanța progresivă a folosirii metodelor de analiză luminiscentă în biologie.

Un alt aspect deosebit de atractiv, din punct de vedere al corelațiilor bionice pe care le implică, este bioelectromagnetismul și în general radiațiile neionizante. În afara încălzirii directe a țesuturilor și a șocului electric direct, mecanismele de acțiune ale radiațiilor neionizante sînt bănuite a acționa sub formă de stimulatori sau inhibitori ai unor procese enzimatice. Sînt menționate corelații între factorul radiant și modificările survenite în diferite zone de acțiune a biocurenților.

Încă din momentul începerii iradierii unui organism superior se observă o serie de modificări ale activității bioelectrice a scoarței cerebrale. În experiențele în care au fost înregistrați biocurenți cerebrali în procesul iradierii s-a observat că modificările activității corticale se instalează după doze de 0,05 razi fiind urmată de modificările excitabilității și reactivității scoarței, fenomen în dependență cu debitul dozei.

Radiațiile acționează astfel și ca un factor important al unor reacții de comportament prin intermediul unor sisteme receptoare chemodinamice și fotodinamice. Este cunoscut fenomenul fosfenei radioactive determinat de acțiunea energiei luminoase asupra fotoreceptorilor retinieni.

De altfel, modificările radiochimice induse de cuantele energiei radiante creează condițiile modificării radioactivității specifice a fiecărui component celular. Apar, uneori, după iradiere, reacții paradoxale în ceea ce privește

conductibilitatea bioelectrică mai ales pe traseele musculonervoase.

Numeroase biofenomene studiate în cadrul radiobiologiei beneficiază de modele de studiu cu largă aplicabilitate practică în alte specialități medicale și stimulează cercetările de perspectivă.

În următorii 10—15 ani creșterea exponențială a rezultatelor cercetării biomedicale, îndeosebi în domeniile „științelor de graniță" coroborate cu utilizarea bionicii, a biocibernetici și o intensă computerizare, va conduce la o și mai laragă desfășurare a ariei de aplicabilitate în tehnologia medicală.

Măsurătorile electrice folosite pînă în prezent prin tehnici de contact (electrocardiograme, electroencefalograme, electromiograme etc.) vor fi pentru medicina viitorului, comparativ cu noua tehnică, la fel cum au fost semnalizarea și comunicarea prin foc față de radiofonie.

În momentul actual, de constituire a conceptului de tehnologie aplicată, în radiobiologie principalele orientări sînt:

A. *Tratamentul semnalelor, a informațiilor, a imaginilor:*

— achiziționarea de date fiziologice și fiziopatologice; recunoașterea de forme și tratamentul semnalelor și a imaginilor codificate;

— metode statistice de clasificare; recunoașterea de imagini (de pildă tomografia spațială transversă);

— Monitorizare.

B. *Metode și instrumentație de explorare funcțională:*

— metode în medicina nucleară, radiologie și radioterapie (detecție, tomografie); captatori fiziologici (senzori, radioizotopi); control fiziologic; stimulări neuromusculare, asistență motrice, protezare.

Cadrul experimental trebuie să individualizeze bine parametrii considerați și să-i încadreze armonic în suportul teoretic.

Partea „metodologică" necesită aproape totdeauna un dispozitiv experimental care poate fi punct de plecare pentru o instrumentație specială. Acest moment al cercetării trebuie corelat și cointeresat cu industria, dacă etapele de pînă aici au primit confirmarea interesului utilizatorilor potențiali. Studiul aprofundat al modelelor permite interpretarea fizică și matematică a anumitor func-

țiuni fiziologice. Se încearcă găsirea celei mai bune expresii matematice a unui model ce traduce funcția cercetată și se caută cea mai bună interpretare a parametrilor fizici și biologici ai elementelor cuprinse în această funcție, în vederea unei ulterioare aplicații clinice a rezultatelor obținute.

Radiațiile ionizante, care au urmărit evoluția vieții încă de la începuturile ei, reprezintă prin acțiunea lor cotidiană și în timp, de-a lungul întregii vieți, una dintre cele mai fascinante domenii de cunoaștere a interacțiunii dintre mediul ambiant și viață, începînd înainte de naștere și pînă la moarte. Rezolvarea unora din enigmele încă existente în această direcție constituie o motivație temeinică a interesului cercetării în acest domeniu.

O datorie și o dilemă pentru cercetători: Evaluarea consecințelor dezvoltării bioingineriei și biotehnologiei

Armonia dintre creșterea continuă a productivității tehnologice și consecințele diferite pe care le are asupra civilizației, în special sub aspect economico-social dar și a echilibrului psihic a stimulat o largă arie de discuție între specialiști din secolul nostru.

Unele întîmplări de excepție, cum ar fi producerea unor accidente nucleare, au reeditat noi discuții asupra protecției la nivelul populațiilor vii, asupra aspectelor ecologice dar și al viitorului vieții pe pămînt.

Deși, legislativ, este încurajată legitimitatea intereselor omenirii în găsirea a noi forme de supraviețuire în actualul context energetico-informațional și a repetatelor crize economice de combustibili și materii prime, se ridică tot mai multe opinii care pun în discuție dezvoltarea necontrolată a tehnologiei, în special a celei create în scopuri militare. Evaluarea impactului social al dezvoltării tehnologice este dificil de analizat în condițiile dezvoltării unor proiecte a căror efecte sînt greu de cunoscut și prevăzut. Viziunile umaniste intelectuale, critice, știin-

ţifice nu pot fi întotdeauna armonizate cu efectele scontate în practica curentă. În concordanţă cu lipsa unei perspective comune a diferitelor interese s-au produs blocări în unele direcţii ale cercetării fundamentale, avînd ca rezultat stagnări ale impulsului creator în aceste domenii.

Biotehnologiei îi revine, în primul rînd, ca sarcină furnizarea unui mediu propice desfăşurării activităţii creatoare şi sprijinirii eforturilor interdisciplinare de a susţine cercetarea de înalt nivel, de a combate tendinţele de minimalizare sau de mascare a unor descoperiri redutabile. Ea trebuie să-şi creeze o strategie critică de evaluare a impactului real între ştiinţă şi societate.

Biotehnologia preconizează utilizarea modelelor experimentale în vederea stabilirii unor metode pentru realizarea unor posibilităţi reale de evaluare. Această experimentare se bazează pe observaţia sistemică şi evaluarea reală în timp, pe manipularea deliberată şi controlul consecinţelor adverse, care ar putea să se producă în urmărirea unui fenomen tehnico-ştiinţific. Se subliniază astfel rolul cercetării în evaluarea impactului ştiinţă-viaţă-societate, bazat pe creşterea acumulării de date.

Evaluările variaţiilor mediului ambiant pledează, după unii autori, la stabilirea unui *statu quo* al impulsului de creştere a consumului în actuala configuraţie economică mondială, a uniformizării unor modele de dezvoltare în diferite zone geografice. Tendinţa de îmbunătăţire a evaluării impactelor tehnologice asupra mediului înconjurător şi a organizării structurilor sociale este dictată de calitatea noilor date obţinute. Există pericolul unor evaluări idealizate, neconforme cu realitatea existentă. De asemenea, intervin anumite constrîngeri legate de investiţiile bugetare, de timp şi de interese organizatorice şi sociale.

Preconizarea unei optimizări continue a condiţiilor de viaţă implică un volum imens de cercetări şi de investiţii. Crearea unor condiţii logice şi eficiente pentru luarea deciziilor este de aceea obligatorie. Aceste deziderate pot fi realizate în scurt timp pe baza unor proiecte majore de bioengineering, menite în primul rînd să conştientizeze marile mase de oameni asupra principalelor interese ale dezvoltării armonioase între ştiinţă-tehnologie-om.

De exemplu, în domeniul informaticii, încă de pe acum, generaţia a V-a de calculatoare urmăreşte „umanizarea" tehnicii de calcul prin creşterea inteligenţei com-

puterilor, care vor folosi în limbajul lor nu numai simboluri și semnificații matematice, ci și structuri logice, cuvinte și noțiuni. În acest fel, ele vor deveni mai direct utilizabile, ștergîndu-se, în parte, barierele subiective care despart astăzi o serie de utilizatori de tehnica calculatoarelor.

Prognoza este, în prezent, o evaluare probabilistică, cantitativă și calitativă a evoluției viitoare a unui fenomen sau produs, făcută pe baza rezultatelor trecute sau prezente. Prognoza, neavînd legi proprii, nu este o știință, ci este o formă de cercetare științifică care are ca obiect de studiu viitorul și are metode specifice de cercetare care pornesc de la o clasificare a viitorului, în funcție de parametrii posibili și imposibili, dezirabili și indezirabili.

O proiectare prea îngustă în viitor a detaliilor dezvoltării științei, ar fi periculoasă pentru progresul civilizației deceniilor următoare, în primul rînd prin formarea unor viziuni false ale oamenilor din generațiile actuale. Dezvoltarea științelor experimentale modifică în mod continuu raportul dintre cunoștințe și aplicațiile lor, în acest fel, vizibil sau nu, fizionomia întregii societăți. Dezvoltarea științelor naturii și ale științelor vieții a dus la proliferarea și diversificarea unor multitudini de domenii, de discipline, după obiect, după metode și, în ultimii cîțiva ani, după posibilitățile lor de a conduce la aplicații practice.

Astăzi știința nu poate exista, dezvolta fără tehnologie, iar tehnologia nu poate avansa fără dezvoltarea științei.

Intervalul de timp ce desparte descoperirea de momentul aplicării ei este din ce în ce mai scurt. Cercetarea este un bun comun al umanității. În contrast cu ea, cercetarea aplicativă care-și face din ce în ce mai mult loc în întreaga lume, mai ales în țările în curs de dezvoltare, legată de un obiectiv și protejată de lege, aparține celor care o întreprind, ei putînd dispune de ea. Discriminarea aceasta însă nu trebuie făcută în știința viitorului. Cercetarea contemporană este caracterizată prin aceea că, în comunitățile științifice puternice de azi, capacitatea și contribuția muncii individuale este foarte mult diminuată, fiind apreciat în schimb volumul global al muncii.

Personalităților de excepție li se substituie competența colectivă. Specializări din ce în ce mai înguste, dar profunde, limitează cîmpul de reflectare al cercetătorului.

Lumea parcurge o nouă etapă revoluționară în cercetarea științifică. În această situație se subliniază importanța deosebită care se dă predicției în domeniul științelor transdisciplinare, deci se postulează depășirea nivelului de multi- sau pluridisciplinaritate.

Toate sistemele de enunțare științifică asupra diferitelor modele reprezintă o formă ideală a previziunilor pe termen lung. Dificultățile se cunosc, costurile de obținere a informației fiind mari. Stabilirea corelațiilor dintre acestea și cuantificarea rezultatelor, mai ales în actul de decizie, alegerea uneia din alternativele dorite, constituie principalele greutăți în încercarea de a face prognoză și predicție pentru termene mai lungi, pentru că colateralele fiecărei probleme sînt atît de numeroase, încît nici calculul probabilităților aplicat nu poate decît, cel mult, să restrîngă aria de variante previzibile.

Este foarte dificil să se introducă toți parametrii care interacționează într-o problemă. Se folosesc uneori scheme în care se arată felul de analiză al acestui număr de variabile, în funcție de variabilele minime care se iau în mod obișnuit în discuție, la care se fac scenarii, modele de analiză matematică și în care se obțin, la urmă, modele de bază de analiză factorială și de analiză regresivă multiplă.

Există unele modele de simulare care folosesc de la 10 variante pînă la cîteva mii, care se fac cu ajutorul calculatoarelor și care depășesc limita dintre posibilitățile pe care le aminteam mai sus trecînd către modele de simulare și optimizare a ceea ce ar putea fi, nu a ceea ce logica permite să se întrevadă. Toate aceste modele complexe de simulare au fost analizate sub forma unor microanalize și macroanalize și a dus, la urmă, la obținerea unor modele cantitative și calitative.

Sînt domenii în care putem, pe o distanță de 5—10 ani, să cunoaștem dezvoltarea unor fenomene care se derulează în timp.

Prognoza pentru anii 2000 include trecerea de la o decelerație la o accelerație continuă a progresului tehnic, pe baza apariției permanente de noi scheme ale ciclurilor fizice și chimice.

Se desprinde clar ideea necesității laboratorului și muncii de concepție, nu numai al laboratoarelor științifice de vîrf, ci și la nivelul bilanțului legăturii cu institutele receptoare, cu stații pilot, cu legarea de producție și micșorarea timpului de la cercetare la aplicabilitate și dezvoltarea pe anumite planuri a segmentelor producției acestor laboratoare. Toată această cercetare poate fi făcută pe baza prelucrării, analizei și sintezei acumulărilor. Se pare că, pînă la sfîrșitul acestui secol, știința modernă pură (matematică și fizică) va fi spus aproape totul din punct de vedere al cunoașterii fizice la nivel planetar. Sistemul fizic utilizat în momentul de față nu va mai avea probleme fundamentale, neclarificate, dar progresul în domeniu va fi datorat unei noi fizici, ea născîndu-se din dezvoltarea cosmologiei. În sfîrșit, dacă discutăm despre civilizația postatomică, care va începe după anul 2000, în care realizările noi se vor face pe baza utilizării practice a unor structuri de subsistem în spațiul solar, aceasta va conduce la noi și mari probleme teoretice. Care vor fi, deci, prognozele următorilor 30 de ani? Vor apărea concomitent mutații psihologice umane extrem de diverse și extrem de bogate. Miniaturizarea resurselor de mari energii va face ca fiecare individ să dispună de sisteme microminiaturizate de energie. Dezvoltarea electronicii cuantice, în plină desfășurare, va realiza modificarea entropiei, transformarea informațiilor structurate pînă la ștergerea nivelului existent între materia organizată din natură și materia vie. Omul rămîne mai departe stăpînul gîndirii în sistemul nostru planetar, în fața lui se ridică o altă serie de probleme (se presupune de pildă, că în jurul anului 2050 se va putea realiza, prin grefare, conexiunea între bulbul rahidian și encefal).

În prezent se consideră că una din principalele probleme ale viitorului o va constitui alimentația lumii, care va deveni, treptat, problema numărul unu, iar următoarea va fi consumul de apă și mai ales modificările din cantitatea de apă potabilă utilizabilă existentă vor conduce la implicații nebănuite pentru dezvoltarea societății. A treia problemă care va preocupa lumea va fi dezvoltarea bioingineriei începînd cu problemele sociale, aceea de organizare și de planificare a familiilor, probleme

demografice și pînă la administrarea bunurilor alimentare, a biomaselor și bioproduselor, în final a proceselor dinamicii economice din societate.

În sfîrșit, fizicianul Denis Gabor afirmă că în afara organelor artificiale, care vor fi din ce în ce mai mult și mai bine utilizate în implanturi, prin dezvoltarea acestor preocupări se va naște o nouă știință, aceea a reparării neuronilor, controlul cu ajutorul drogurilor al comportării umane și schimbări ale personalității ș.a.m.d., deoarece biochimia sistemului nervos va putea fi manipulată, așa cum se întîmplă, în prezent, în unele probleme ale geneticii.

Ceea ce este foarte interesant și, în parte, deja realizat este controlul pregătirii proceselor de învățare și a învățămîntului cu ajutorul calculatorului. Există un „profesor automat" adică un calculator, care „ascultă" la examene.

Iată deci că un calculator a ajuns să acționeze logic „gîndind", ascultînd și comparînd noțiunile care sînt înscrise în programul respectiv, ceea ce constituie o realizare deosebită din punct de vedere nu numai al tehnologiei, al electronicii, al informaticii, ci și din punct de vedere al logicii aplicate.

Se prevede pentru anul 1990 un calculator care să facă translația din mai multe limbi străine, astfel ca orice student să poată răspunde în limba aleasă. Calculatorul traduce și în același timp examinează.

Putem relua, pentru exemplificare, din lucrarea *Viitorul* de Pavel Apostol, care sînt problemele pe care le întrevăd europenii (englezii și germanii) în special în domeniul viitorologiei. În problemele controlului demografic al populației apar probleme noi care presupun alte metode privind mobilitatea populațiilor, emigrația din rural în urban și apoi din urban în rural, întinderea orașelor, relații sociale noi, cercetarea asupra presiunii demografice. După aceea, problema nutriției și subnutriției, alternativele pentru rezolvarea ei (noi surse de proteine, nutriția microbiologică etc.) deci, toate problemele de biotehnică pe care le întîlnim curent. Creșterea animalelor prin metode genetice, în vederea obținerii unor randamente mai ridicate. Protecția și dirijarea mediului înconjurător, me-

tode mai perfecționate de educație etc. Activitățile rurale și urbane bazate pe economisirea resurselor, reciclarea optimă a acestora, în special în industria deșeurilor recuperabile.

În probleme de sănătate se au în vedere: manipularea microbiologică, problema prelungirii vîrstelor, testări de biopsihologie, etologie și de comportament, ambianță optimă, prognozele biotehnice privind habitatusul uman etc. Deci o serie de afecțiuni care apar în plină vîrstă pot fi preîntîmpinate (Institutul de gerontologie din Franța afirmă că, de fapt, vîrsta tînără ar trebui să fie pînă la 70 ani, maturitatea între 70—100 ani, iar peste 100 ani se consideră grupa celor în vîrstă. Pentru că omul trebuie să trăiască în mediu, conform ceasului lui genetic, în jur de 110—130 ani, iar teoretic poate ajunge și depăși chiar 150 ani).

Se pare că plătim un tribut de jumătate din viață greșelilor pe care le facem, uneori conștienți, în alimentație și datorită modelului de organizare al mediului de viață. În sfîrșit, apare o problemă extrem de importantă și anume utilizarea drogurilor, a otrăvurilor, a toxicelor de către un număr crescînd de oameni.

Suprasaturarea în stimuli negativi și noxe, boala de informație, care apare datorită pe de o parte supradozării informaționale, pe de altă parte refuzului pe care-l au majoritatea indivizilor din societate de a se adapta dinamic civilizației moderne și impactului cu cantitatea de informație, duce la tulburări noi apărute în organism. Sfîrșitul secolului al XX-lea este caracterizat printr-o creștere semnificativă a numărului de sinucigași, datorită neadaptării etc. Omul lipsit de probleme materiale va avea probleme competiționale, de pildă.

Tulburările de homeostazie psihică conduc firește, la atenuarea mecanismelor de autoapărare, dînd posibilitatea înmulțirii și răspîndirii unor boli în sistem.

Consumul de droguri (îndeosebi de către indivizi avînd tare genetice și stări nevrotice) ca paleative ale stărilor de stres sau de altă natură reprezintă o problemă importantă medico-socială mai ales în perspectiva viitorului.

În eterul și atmosfera planetară există numeroase surse provenind de la diferite cîmpuri energetice prin inter-

ferența avalanșelor de semnale lansate de diferiți emițători. Un anumit procent din acest „smog" informațional parazit este recepționat direct sau indirect de sistemul nervos uman, producînd condiționări și norme de reacție la mediu, care creează premize pentru dezvoltarea unor reacții care afectează limitele fiziologicului. Este și acesta un domeniu de interes pentru bioinginerie, căreia îi revine importanta misiune de a pune la punct metode neinvazive de cunoaștere și dirijare a efectelor acestor agenți asupra organismului.

Dorința și poate necesitatea omului de a popula și alte spații decît cele oferite în prezent de suprafața planetei noastre va ridica o multitudine de probleme biotehnologice și bioinginerești de care unii specialiști se preocupă încă de pe acum.

MODELAREA ÎN BIOMEDICINĂ

În dezvoltarea concepției științifice despre lume un rol esențial l-a avut acumularea de date. Aceasta a condus la necesitatea sistematizării informațiilor acumulate, iar în dezvoltarea ulterioară a științei la imaginarea unor modele.

Termenul de model și modelare este folosit și în cercetarea din domeniul științelor biomedicale, în sistemul de asistență medicală modernă unde se utilizează metodele matematice și simularea pe calcuator. În zilele noastre modelarea ca proces este, în mod fundamental, metoda de bază a științei și implică interrelații multiple, de cele mai multe ori de tip cibernetic. O ipoteză este dedusă din unele observații ale lumii fizice și testată experimental.

Întrucît o teorie este adesea subiectivă, atunci cînd o supunem ciclului feed-back negativ, de control al experimentului, dacă este incorectă nu va supraviețui. Deseori, un punct de vedere inadecvat al sistemului ce este studiat poate să prevaleze o perioadă de timp, împreună cu teoria incorectă pe care se bazează modelul.

Desigur, modelul nu reprezintă sistemul fizic real în toată complexitatea lui. Procesul de generare al modelului și cel al proiectării experimentului, în mod tipic, merg mînă în mînă și ambele necesită folosirea întregii experiențe și metodologii (care pot să fie făcute disponibile).

Timp de mai multă vreme proiecțiile unui model au fost calculate mental sau cu folosirea diferitelor calculatoare manuale. Termenul de simulare este folosit pentru a indica funcționarea unui sistem (model pe un calculator în diferite condiții). Această versiune mult mai complicată a procesului de ipotezare și de modelare, cu căile sale

paralele, implică interacțiunea de circuit închis la mai multe nivele. Primele rezultate experimentale și proiecții de la un model sînt comparate. Aceasta permite evaluarea validității modelului și, deci, sugerează modul cum poate să fie adoptat sau modificat, astfel că pentru a exista un cît mai bun acord în interacțiunea următoare este necesar un proces de optimizare. Aceste variante optimizate pot adesea să fie computerizate și astfel remodelate automat.

Modelele pot să ia forme diferite și să servească mai multe scopuri. Nu putem furniza o clasificare completă, nici exemple adecvate pentru a acoperi spectrul complet al modelării, de aceea vom prezenta cîteva exemple într-un context care sperăm că va ajuta la explicarea principalelor puncte de vedere și explicita scopul modelării.

Algoritmul modelării nu este deloc ușor, fie că este vorba de probleme ale cercetării fundamentale, fie de probleme cu caracter aplicativ.

La baza modelării se află o metodă generală de descriere a realității, metodă a cărei aplicare consecventă permite descrierea formală riguroasă a unor activități de sistem. O mulțime structurală de acțiuni orientate permite definirea unui comportament al modelului, iar descrierea sa, atît din punct de vedere al datelor de intrare și de ieșire cît și al comportamentului, în diverse situații, se poate face cu ajutorul unui aparat matematic riguros. Un model este cu atît mai „inteligent" cu cît folosește un aparat matematic mai puternic și mai nuanțat, iar folosirea lui se face cu mult discernămînt din partea celui care creează modelul. Intervenția umană în aplicarea creatoare a unei metode de modelare apare în acest caz esențială în determinarea inteligenței modelului.

Un model bine conceput nu trebuie neapărat să corespundă realității, dar în acest caz existența lui rămîne pe un plan pur teoretic-conceptual, deoarece tocmai similitudinea cu fenomenele și structurile reale deschid drumul spre o înțelegere profundă a naturii și o aplicabilitate practică în procesul de transformare conștientă a lumii înconjurătoare.

Gradul de similitudine între comportamentul modelului și cel al sistemului real este determinat de natura informațiilor furnizate observatorului exterior. Acestea pot fi informații foarte precise sau numai estimări globale ale

evoluției sistemului. Fără a intra în amănunte, amintim că descrierea unui model se poate face schematic prin următoarele elemente: 1) o clasă proprie de operatori; 2) secvențe de aplicare a operatorilor; 3) un timp de răspuns la stimul. La anumite clase de sisteme se evidențiază, în mod deosebit, operatorul de memorare; în acest caz tipul și dimensiunea memoriei devin elemente de caracterizare importante.

De obicei, în modelarea unor sisteme complexe apare conflictul dintre volumul mare de informații de intrare/ieșire și precizia ridicată cerută la determinarea compartimentului sistemului; pe de altă parte, existența unui volum mare de operații determină un timp de răspuns al modelului mult inferior timpului de reacție al sistemului real.

Rezolvarea acestor conflicte în cazul unui model determină inteligența modelului, o îmbinare creatoare între eficiența metodei și abilitatea modelatorului. În acest context, nereușita unei modelări nu poate fi pusă numai pe seama celui care realizează modelul, ci și datorită unei metode de investigare nepotrivite.

Simularea ca o relație model-calculator este des folosită.

Conceperea și descrierea formală a unui model este adesea o activitate care rezolvă problemele numai pe jumătate. Următorul pas este de a vedea dacă comportamentul modelului creat descrie sistemul real. În cazul unor modele mai simple sau care necesită numai estimări globale ale comportamentului, operația de mai sus se poate face cu ajutorul unui aparat logico-matematic. In acest caz, funcționarea teoretică a modelului echivalează cu o funcționare reală. La modele mai complexe o demonstrare pur teoretică a funcționabilității conform cu realitatea nu este posibilă. Atunci se recurge la simulare. Simularea, în general, este o activitate puternic orientată, astfel încît se poate vorbi de simularea unui model pe o anumită structură reală. Ne vom referi numai la simularea modelelor pe calculator, acest tip de simulare fiind cel mai des folosit în practică, deși nu și cel mai potrivit în toate situațiile, așa cum vom vedea mai departe.

Sistemele de calcul sînt și ele tot modele, produse ale minții omenești, concepute în scopul rezolvării unor clase foarte largi de probleme specifice activității umane. Ca

orice model, o mașină de calcul are propria sa inteligență care se bazează pe o descriere riguroasă a datelor de intrare/ieșire, a operatorilor valizi în sistem, a structurilor de memorare și a timpului de răspuns. Orice model capătă prin simulare un suport fizic de realizare, care îi permite efectiv să funcționeze conform definirii sale formale.

Adesea, descrierea unui model este atît de diferită față de cea a structurii de calcul pe care este simulată, încît implementarea efectivă presupune conversia în mai multe etape a caracteristicilor modelului. Limbajele de programare, prin marea lor maleabilitate, permit conversia corectă a claselor de operatori și a întregii structuri de memorare. Între model și mașină se stabilește o interdependență reciprocă, hotărîtoare în obținerea unor rezultate de calitate. Se vorbește astfel de modele ce se pretează la o simulare pe calculator, simularea caracterizată prin calitate și eficiență. Dimpotrivă, inteligența mașinii este adesea orientată să răspundă cel mai bine simulării unor clase de modele. Astfel, structurile hardware și software ale unui sistem de calcul nu rămîn indiferente la caracteristicile structurilor modelate. În termeni medicali, acest lucru s-ar traduce printr-o puternică interdependență între funcție și suportul ei somatic.

În cazurile fericite, în care inteligența modelului și cea a mașinii se aseamănă, nivelele de conversie sînt eliminate și o dată cu ele și posibilitățile de deformare a informațiilor din sistem.

O aplicație este adesea atît de legată de suportul ei fizic de realizare încît este foarte greu de stabilit unde începe una și unde se sfîrșește cealaltă. Inteligența modelului și cea a mașinii sînt atît de strîns legate, încît nu putem să ne dăm seama, uneori, în cazul unei nereușite, care din ele este de vină. Pentru a determina dacă un model este bun sau dacă mașina pe care este el simulat este cea mai potrivită va trebui să facem unele precizări.

Modelul de bază este o descriere teoretică formală a sistemului real. Din descrierea lui, nu rezultă nici-o informație cu privire la structura de calcul pe care el poate fi simulat. Independența modelului teoretic față de simulare face ca el să poată fi implementat pe una sau mai multe structuri de calcul. Bineînțeles această implementare va fi mai grea sau mai ușoară, după natura acestei structuri, determinînd totodată și succesul simulării.

În momentul alegerii unei structuri de calcul pentru simularea modelului teoretic, acestuia i se asociază un model direct implementabil pe structura respectivă. Din acest moment, modelul de bază este ecranat față de observatorul extern de către realizarea modelului pe structura de calcul. Pentru observator există acum *modelul pe calculator*, care va fi testat, modificat, estimat ca performanțe etc. Orientarea atenției către acest model pe calculator ne poate duce însă la unele concluzii eronate. Dacă rezultatele simulării nu sînt cele așteptate sau nu sînt prezente toate caracteristicile comportamentale ce au fost inițial modelate, se va considera că modelul nu este bun: care model? de cele mai multe ori vina este dată pe modelul teoretic fără a ține seama că cel testat și găsit necorespunzător este *modelul pe calculator*, care nu este decît una din realizările posibile ale modelului teoretic.

În problemele de modelare în domeniul tehnicii relația între modelul teoretic și realizarea lui pe calculator este foarte strînsă, astfel că raționamentul de mai sus este adesea corect: un model teoretic bun trebuie să fie bun și în simularea pe calculator.

În biomedicină teoria modelării se aplică în diagnostic, în neuropsihologie, endocrinologie etc. Domeniul se întinde de la medicina nucleară la microbiologie și sistemele fiziologice, pentru simularea sistemului de asistență a sănătății ca un întreg. Asemenea modele, în mod tipic, plasează accente pe dezvoltarea unei structuri adecvate sau rețele de lucru pentru a reprezenta interacțiunile dintre variatele procese din cadrul sistemului dat.

Multe procese, în mod natural, conduc la modelele de „compartiment". Deci, multe ecuații fundamentale sînt acelea de „conservare" a materialului energiei sau informației. Exemple de modele compartimentale relativ simple sînt: cineticele glucozei și insulinei în corpul uman și secreția de cortizon precum și distribuția, legarea și metabolismul apei. Ele au compartimente perechi (de exemplu: intravascular și extravascular) și, în plus, unele modele pledează pentru reprezentarea separată a diferitelor sisteme de organe bazate pe un asemenea model. Celula umană a fost modelată pentru a vedea în ce mod modificările aparente în cancer pot să fie evidențiate. Asemenea modele pot să ducă la constatări ca acelea că celula poate să devină canceroasă prin modificarea valorilor anu-

mitor parametri deviați de la normal, acest fapt fiind important clinic pentru a cunoaște dacă modificările acestor parametri se pot studia (acestea sînt de natură radiobiologică, farmacologică, psihologică și de obicei, plurifactoriali).

Multe modele sînt deterministice în ecuațiile lor, dar altele au aspecte stohastice. Modelele epidemiologice furnizează un exemplu din acest grup. Sistemele biologice, în general, au mai multe grade de libertate decît este necesar în scopul de a realiza un obiectiv clar, specific. Un alt caracter imperativ al modelului biologic este acela că mai multe subsisteme sînt aranjate într-un set ierarhic, astfel încît sistemul la nivelul înalt să includă posibilitatea de funcționare la nivelul inferior, în scopul satisfacerii criteriului de optimizare.

Aceste sisteme sînt „subspecificate", în timp ce criteriul de optimizare corespunzător poate să fie identificat. Multe fenomene de optimizare par să se aplice la un număr mare de sisteme biologice inclusiv cele ecologice. Putem aprecia, de asemenea, că multe din legile fizice fundamentale aplicabile la fenomenele fizice și biologice, cum ar fi legea lui Ohm pentru rezistența electrică și legea lui Hooke pentru tensiune, sînt de fapt deductibile de la un principiu al optimalității, bazat pe minimizarea energiei sistemului. Prezintă de asemenea interes faptul că circuitul interactiv pentru optimizare trebuie să folosească tehnicile bazate pe unele criterii predeterminate. În consecință, aceleași tehnici cerute de problemele de modelare descrise vor putea fi folosite în optimizarea modelului ca atare și viceversa. După ce un model a fost dezvoltat, bazat pe principiile fizice implementate în proces, structura lui internă poate să prezinte unele variabile de stare cantitative, care nu sînt măsurabile direct în sistemul real. Două exemple: decompresia scafandrului și dializa rinichiului artificial. În ambele cazuri se poate ivi sindromul de greață, de indispoziție atunci cînd diferențele de concentrații ale anumitor substanțe dintre compartimente diferite depășesc limitele tolerabile. Modelul cel mai simplu implică două compartimente în concordanță cu fiziologia și natura aplicației ce ne interesează. În unul din modelele de decompresie sînt implicate trei compartimente ce pot să fie monitorizate în continuu, deci trei perechi de dife-

rențe pentru a arăta maximum la orice perioadă de timp dată.

Un alt exemplu, îl constituie controlul glucozei sîngelui și a menținerii glicemiei normale. În mod specific, nivelul glucozei din sînge este în mod continuu monitorizat printr-un cateter (instrument tubular de metal folosit la dilatarea unui vas) și folosit ca ieșire fundamentală pentru modelul dinamic programat pe computer vizînd sistemul glucozo-insulină. Un program de control computerizat este apoi folosit pentru a determina viteza optimă a insulinei sau a infuziei de dextroză pentru intervalul apropiat de timp, știind că există constante de timp relativ lung implicate în proces. Se va nota că o caracteristică esențială este capacitatea modelului de a funcționa în perioade scurte de timp, aproape instantaneu.

Modelul propus este adaptabil prin parametrul ce se modifică de la individul complet sănătos la cel cu diabet. În prezent aplicația este utilă mai ales pentru spitale și autorii au demonstrat eficiența și controlul mai bun decît cel obținut în mod obișnuit nu numai la bolnavii cu diabet, dar și la indivizii sănătoși.

Cercetarea și aplicarea tehnologică în biomedicină nu poate fi concepută astăzi fără modelare. Aceasta, în afara rezolvării și găsirii unor soluții la problemele aflate în studiu, aduce însemnate contribuții în găsirea unor noi căi de dezvoltare a direcțiilor de investigare, conduce la însemnate economii de timp, de mijloace materiale și forță de muncă.

Este evident că în biologie și îndeosebi în medicină, unde este dificil să se studieze exhaustiv un sistem, se poate considera un alt sistem teoretic matematic, care este similar în anumite privințe, dar este mult mai verificabil pentru studiu. Un sistem similar cu cel real sau conceptual devine un model și va fi posibil să se raporteze oricare din rezultatele obținute de la el la sistemul care ne interesează. Un model va avea fie o valoare practică în cercetarea unui sistem special, fie va acționa ca un instrument conceptual în furnizarea unei mai bune înțelegeri a compartimentelor sistemului studiat.

Sistemele biologice sînt create și nu proiectate și de aceea sînt implicate în sisteme de control multiple, foarte complexe. Astfel trebuie să stabilim proiectarea lor fundamentală tot la fel ca și înțelegerea comportamentului

lor. Un număr de modele biologice, cum ar fi funcționarea plămînului și activitatea renală, sînt folosite curent în practica clinică, unde comportamentul unui model pentru obținerea de date de la un pacient poate să fie comparată cu normele stabilite.

În cercetarea biomedicală fundamentală înțelegerea unui sistem este adesea insuficientă pentru a fi capabilă să descrie comportamentul său printr-un model. De obicei este mai convenabil să se descrie o ipoteză și deși aceasta poate să se dovedească a fi greșită să poată să fie modelată și comparată cu datele experimentale. Valoarea principală a unor asemenea modele își găsește utilitatea în proiectarea experimentelor care ar putea să furnizeze o mai bună înțelegere a fenomenului. Cercetarea poate utiliza modele fizice, modele matematice, modele structurale, modele verbale ș.a.

Comportamentul dinamic al sistemelor poate să fie studiat folosind modelele fizice echivalente care simulează funcționarea lor.

Astfel, de pildă, creșterea exponențială și funcțiile pot să fie simulate prin rețelele de lucru rezistență/capacitor.

Modelele matematice cer însă o înțelegere a matematicilor și pot să fie aplicate numai la sistemele care sînt verificabile prin descrieri matematice și acolo unde calitatea datelor disponibile este adecvată pentru a furniza unele comparații ale comportamentului modelului cu acela al sistemului. Există două abordări distincte: una pur matematică, prin determinarea funcției de transfer a funcției biologice și una prin metoda analizei compartimentale. Răspunsul de ieșire al unui sistem pentru o intrare definită, poate să fie reprezentat printr-o funcție de transfer, dar, deși aceasta poate să fie corectă din punct de vedere matematic, ea ar putea să aibă o mai mică semnificație biologică pentru funcțiile complexe. În mod alternativ, înțelegerea pentru un biolog a comportamentului unui sistem poate să fie reprezentată prin conexarea comportamentelor.

Există 3 stadii ale modelului utilizat în cercetarea biologică: a) modelul biologic care trebuie studiat; b) ecuațiile matematice care-l definesc; c) modelul pe computer.

Dificultățile pentru un biolog în adaptarea acestei abordări este evidentă, astfel că modelarea acestui tip este adesea lăsată pentru specialiștii sau inginerii înclinați spre

cercetări interdisciplinare familiarizați cu teoria controlului, informatica.

Modelele algoritmice sînt des utilizate în cercetarea biomedicală în studierea formării căilor neurale dintre retină și tectum, un model structural poate să descrie întregul sistem, încorporînd translația și rotația retinei și a

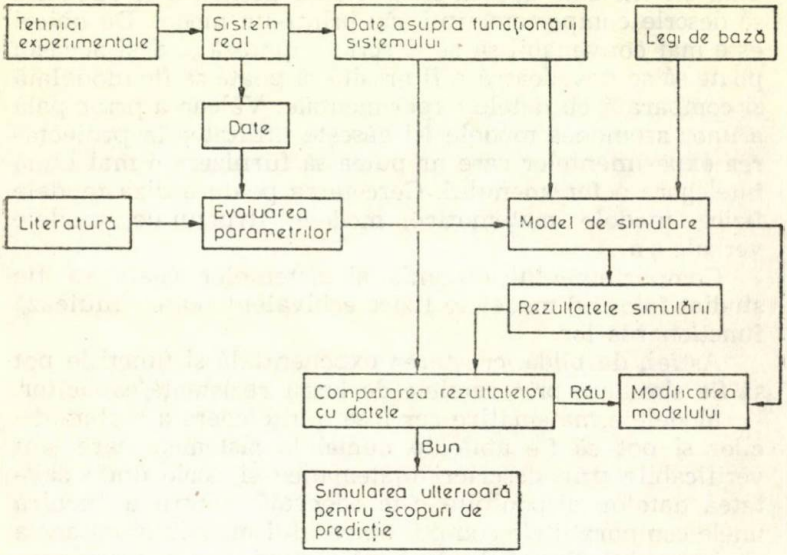


Fig. 3
Schemă de dezvoltare a unor modele de simulare

tectumului. Aceste căi sînt în final schițate într-o mulțime ordonată pentru lectură, sugerînd că fiecare ar putea să aibă o poziție absolută. O ipoteză alternativă face ca fiecare conectare de la retină la tactum să ia o cale aleatoare, apoi se compară poziția sa relativă cu una vecină, selectată aleator, cu poziții corespunzătoare de pe retină.

O dată ce un model biologic a fost validat, în sensul că el satisface atît criteriul biologic cît și cel fizic, intervine criteriul matematic care poate să fie folosit într-un mod practic.

Cercetările din biomedicina viitorului nu pot fi concepute în afara modelării unor sisteme și subsisteme vii, în continuă interrelație.

Din diversitatea de exemple ce se pot da ne vom opri la problemele modelării biologice în neurologie, la trăsăturile specifice pe care le are fie realizarea unor modele, fie ale funcționării sistemului nervos în general, fie modelarea unor funcții cerebrale individualizate. Activitățile cerebrale sînt acțiuni orientate, cu o specificitate puternică, indiferent dacă acest lucru se referă la control și reglare, la memorare sau introducere, prelucrare și reorganizare de informații.

Un model teoretic de descriere a unei proceduri cerebrale va cuprinde o serie de activități specifice, de operatori, care, în principiu, pot fi descriși formal. Același lucru este valabil și în descrierea structurilor de memorare, de vehiculare a informațiilor etc. Se pot deci concepe modele cerebrale care să încerce o descriere a modului în care creierul uman rezolvă anumite clase de probleme. Avînd în vedere marea eficiență cu care mintea omenească este capabilă să rezolve probleme foarte complicate, ne-am aștepta ca modelul pe calculator să fie mult mai eficient. În acest punct al experimentului putem avea o surpriză neplăcută: procedurile cerebrale sînt mai puțin performante decît cele ale calculatorului. S-ar putea crede că inteligența naturală este învinsă de inteligența artificială a mașinii? Este oare acest lucru adevărat? Este modelul de bază greșit? Care este explicația acestei performanțe scăzute? Explicația este simplă în momentul în care ne amintim că de fapt lucrăm cu două modele: cel teoretic și cel implementat pe calculator.

Așa cum am arătat mai înainte relația dintre funcție și structură este foarte puternică, determinînd o condiționare reciprocă. La sistemele biologice această interdependență este și mai accentuată, avînd în vedere caracterul evolutiv specific al structurilor vii, evoluție în care structura probabilistică face ca funcția să nu poată fi complet desprinsă de suportul somatic.

Procedurile cerebrale nu fac nici ele excepție de la această regulă. Ele s-au structurat de-a lungul timpului pe un suport neuronal specific; acest suport este o structură hardware, cu caracteristici bine determinate, cu operatori proprii și o funcționare specifică. Suportul neuronal apare astfel ca structura optimă de implementare a unei proceduri cerebrale. În această relație dintre proce-

dură și structură trebuie căutată performanța deosebită a sistemelor biologice.

Deosebirea dintre modelul biologic și realizarea lui pe o structură fizică apare esențială, ca principal factor ce determină viabilitatea unui model. Faptul că simularea pe calculator a unor modele de proceduri cerebrale duce

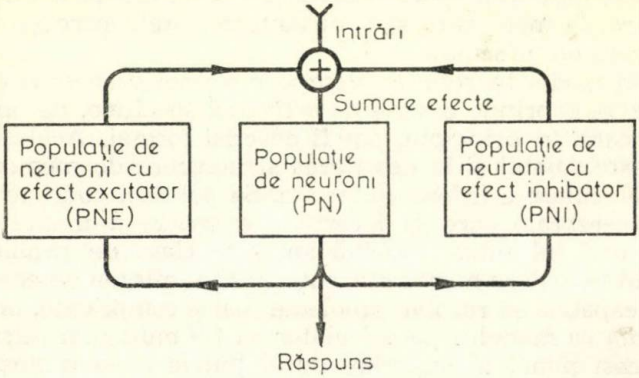


Fig. 4
Schema unor modele biologice

la performanțe mai scăzute, nu demonstrează ineficiența acestora, ci slaba lor performanță pe o structură care nu le este specifică.

O modelare viabilă în studiul neuroinformaticii implică o dublă modelare: modelarea funcției respective și modelarea suportului ei structural astfel încît relația funcție structură să fie păstrată, ceea ce elimină importante distorsiuni în circuitul informațional al procesului de testare al modelului.

Exemple de abordare biotehnologică a unor sisteme biologice pot fi foarte numeroase și de o mare diversitate. Scurta enunțare de pînă acum a unora din problemele ce apar în modelarea sistemului nervos și simularea acestora pe calculator nu fac decît să schițeze un punct nou de plecare în studiul sistemelor vii, a căror complexitate și problematică depășește cadrul problemelor de tehnică pură.

În acest context, modelarea biotehnologică capătă noi valențe. Dificultatea ei este mai ridicată tocmai din aceste

considerente. Este greu de a ne mulțumi să concepem modele fără să ne punem întrebarea dacă ele sînt adecvate unei simulări pe calculator. Iar dacă simularea pe calculator este o metodă curentă și comodă, metodologia de testare a modelelor pe calculator și procedurile de interpretare a rezultatelor simulării trebuie să poarte amprenta rezervei pe care o avem în momentul în care, în mod conștient, separăm o funcție de suportul ei natural.

Modelarea în biologie, în ultimă instanță, necesită un efort superior de gîndire și analiză; ne învață să privim funcția și structura ca un tot unitar, în care funcția este o reflectare a structurii, iar structura o funcție a funcției, conferind un comportament și o filozofie proprie sistemelor biologice.

De la începuturile existenței sale materia vie a avut nevoie de informație. Fără a neglija aspectele energetice și substanțiale ale existenței materiei vii, se poate afirma că structurarea ei specifică, în cele mai diverse forme, a fost hotărîtor influențată de universul informațional. Viața este în același timp o mare generatoare și consumatoare de informații. În natură corpurile suferă în permanență un puternic bombardament cu informații. Pentru recepționarea celor utile materia vie a găsit forme specifice, structurile respective asigurînd în același timp și protecția împotriva unei suprasaturări inutile cu informații. Această dualitate nu ar trebui să ne mire: foamea de informație este o dorință de permanentă verificare a existenței și o condiție a dezvoltării; frica de informație este o reacție de apărare și conservare a stării actuale a sistemului.

Omul, ca ființă informațională, nu face excepție de la legitățile care guvernează existența materiei vii în mijlocul oceanului informațional. De aceea modul în care au loc procesele informaționale exterioare, indispensabile vieții nu pot fi neglijate în momentul în care se studiază probleme de comportament ale sistemelor biologice, procesele informaționale din interiorul materiei vii.

Prima treaptă de conștientizare a informației este recepționarea ei de către un corp oarecare. Această recepționare sau percepție nu este universală pentru toate tipurile de informații și se referă la o clasă restrînsă, determinată în primul rînd de ceea ce numim purtător fizic de informație. De subliniat că fiecare purtător de infor-

mație are un mod propriu de a genera, transmite și recepționa ceea ce duce la procese specifice de transmisie a informației de la generator la receptor. Pe de altă parte caracterul dual al materiei ne arată că în funcție de anumite condiții unul sau altul din aspectele aceluiași proces poate fi dominant, avînd proprietăți specifice. Dacă tipul de purtător este în mod obiectiv dictat de natura generatorului, transmiterea informației depinde de proprietățile mediului de propagare, iar recepția ei este specifică fiecărui receptor în parte. Nu se poate trece la studiul aprofundat al unui receptor de informație atîta vreme cît nu se cunoaște exact ce informații ajung la el, cînd și în ce condiții.

Este evident că în drumul său de la generator la receptor informația este deformată și uneori chiar distrusă. Ne-ar interesa să aflăm, în anumite condiții, care din componentele ei sînt supuse deformării și în ce măsură. Pentru început, ar fi suficient să se răspundă precis la întrebarea: în ce condiții informația generată ajunge la un anumit receptor, cu alte cuvinte dacă are loc actul de percepție.

Proprietățile mediului de propagare sînt atît proprietăți fizice cît și proprietăți topologice (de așezare spațială a obiectelor). Nu vom defini aici noțiunea de obiect deoarece așa cum vom vedea în continuare nu este o noțiune absolută, ci asociată cu un anumit tip de percepție. Ființele vii au ca sisteme receptoare de informație organele de simț. Aceste modalități de percepție (senzori) se pot considera din punct de vedere al apariției pe scara evoluției, al complexității lor structurale și funcționale, al sofisticării percepției și al volumului de informații utile pe care le recepționează și prelucrează. Cu cît un senzor este mai sus în ierarhie, cu atît el este mai pretențios din punct de vedere al percepției (recepției informației), și depinde în mare măsură de caracteristicile topologice ale mediului. La baza ierarhiei senzorii depind aproape exclusiv de caracteristicile fizice ale mediului, în timp ce topologia devine neesențială în procesul de percepție. Ierarhizarea respectivă situează funcția vizuală și auditivă pe cea mai înaltă treaptă a percepției senzoriale.

Spre exemplu, omul modern este un continuu captator senzorial, un colector senzitiv de mesaje și informații. Vă-

zul, auzul în special, dar și celelalte simțuri sînt avide de noi senzații.

Purtătorii specifici de informație sînt foarte sensibili la caracteristicile mediului de propagare. Orice variație în proprietățile fizice sau în structura topologică a universului considerat poate modifica în mod hotărîtor calitatea percepției. Pentru senzorii primari variația proprietăților fizice este atît de importantă încît cu greu se poate pune în evidență contribuția proprietăților topologice în partea de sus a ierarhiei senzorilor; chiar în cadrul unor medii de propagare quasiconstante din punct de vedere fizic topologia este esențială în actul percepției. Este de altfel destul de dificil de sesizat unde începe și unde sfîrșește influența topologiei.

Cercetările intreprinse asupra acestor probleme au condus la ideea de a căuta o descriere logico-formală a actului de percepție în care fiecărui tip de percepție specifică i se asociază un operator care să quantifice condițiile fizice și topologice pe care trebuie să le îndeplinească mediul, de propagare, pentru ca percepția respectivă să aibă loc.

În descrierea operatorilor cu ajutorul logicii bivalente se obțin, în mod univoc, date asupra existenței sau nonexistenței unui anumit tip de percepție în condiții de mediu date (incluzînd aici și diverse configurații de obiecte). Din descrierea operatorilor cu ajutorul logicilor polivalente și a mulțimilor vagi se pot obține informații și asupra calității unui tip de percepție.

Studiul amănunțit al percepției vizuale și auditive a arătat necesitatea definirii proprietăților topologice ale mediului, raportate la un anumit proces perceptiv specific. Calea de investigație aleasă a fost cea a introducerii pe cale naturală a unor categorii topologice, cărora li se asociază operatori capabili să determine o tratare formală și procedurală a problemei. Fără a intra în amănunte vom reaminti că procesul de percepție este format din suprapunerea a trei procese distincte:

— proces generativ;
— proces de propagare;
— proces de recepție.

Fiecare din obiectivele din univers, care există din punct de vedere al tipului respectiv de percepție, ia parte

cel puțin la unul din procesele enunțate mai sus. Fiecărui obiect i se asociază atît proprietăți topologice cît și condiții de funcționalitate în cadrul unuia sau altuia din procese. Apar, în mod natural, noțiuni și categorii ca existență optică a obiectelor, sursă optică, ecranare, oglindire, funcționalitate, generare și recepție de informație optică etc. S-a ajuns în acest mod la o formă a operatorului percepției vizuale (V) capabilă să dea un răspuns la întrebările puse anterior cu privire la condițiile de existență ale informației optice la receptor.

Încercarea de a obține prin aceleași procedee o formă de operator asociat actului percepției auditive (H) a condus la următoarele constatări:

a) operatorul percepției auditive are, din punct de vedere formal, o expresie mai simplă decît cea a operatorului percepției vizuale. Acest lucru era de așteptat deoarece acești operatori descriu condițiile fizice și topologice asociate actelor de percepție respective, iar văzul este, din punct de vedere topologic, mai pretențios decît auzul, ceea ce de altfel îi situează în vîrful ierarhiei organelor de simț;

b) la percepția auditivă apar probleme topologice specifice datorate naturii speciale a purtătorului de informație. Aceste aspecte noi își găsesc quantificarea și în expresia operatorului percepției vizuale sub o formă echivalentă. Se apreciază că această deosebire esențială este determinată de caracterul dual, corpuscular-ondulatoriu al purtătorilor specifici de informație;

c) forma operatorului percepției vizuale o cuprinde, prin particularizarea unor parametri, pe cea a operatorului percepției auditive, astfel încît se poate vorbi de un operator general al percepției audiovizuale integrate.

Atît din punct de vedere anatomic, cît și funcțional aparatele vizual și auditiv prezintă o integrare remarcabilă, care duce la o activitate specifică și la obținerea unui regim optim în recepționarea și prelucrarea specifică a informațiilor primite din mediul înconjurător. Fără a intra în amănunte, precizăm că cele două aparate pot funcționa și independent dar lipsa funcțiilor integrative specifice diminuează mult din eficiența pe care o prezintă aparatul audiovizual integrat.

Așa cum am văzut, percepția vizuală și cea auditivă au de înfruntat condiții topologice mult mai dificile în com-

paraţie cu alte tipuri de percepţie. Existenţa integralităţii acestor două funcţii face ca restricţiile topologiei audiovizuale să fie mai uşor înlăturate. Poate că nu este întîmplător faptul că topologia percepţiei vizuale şi auditive a putut fi descrisă formal prin acelaşi operator general, prin particularizarea lui la condiţiile specifice fiecărei percepţii, determinate în primul rînd de caracteristicile fizice ale mediului, de structura lui topologică şi de natura suportului de informaţie asociat.

Faptul că două tipuri de percepţie, din cele mai sofisticate, au fost descrise cu ajutorul aceluiaşi operator general ridică problema existenţei pentru toate tipurile de percepţie a unui operator unic obţinut prin generalizarea şi extinderea operatorului percepţiei audiovizuale.

Abordarea operaţională a acestor probleme cu ajutorul operatorilor definiţi pe mulţimi vagi, care să quantifice cît mai exact caracteristicile mediului fizic şi ale generatorilor şi purtătorilor specifici de informaţie, ar putea conduce la elaborarea unei teorii integrate a percepţiei, care să cuprindă în mod unitar toate tipurile de percepţie cunoscute şi, poate, modalităţi noi de percepţie.

Privind evolutiv formarea organelor de simţ, se observă că deşi spaţiul purtătorilor de informaţie este un spaţiu continuu, organele de simţ, prin procese de recepţie specifică, decupează numai benzi relativ înguste în acest spaţiu. De ce benzile de percepţie, adevărate ferestre ale fiinţei umane către informaţie, sînt situate tocmai în aceste limite? Benzile de percepţie pot fi lărgite în mod artificial pînă la o eventuală întrepătrundere? Materia vie s-a strecurat sub permanenta influenţă a mediului informaţional. Este probabil ca pentru organismele unicelulare actualele benzi de percepţie să nu însemne nimic din punct de vedere informaţional, ci numai energetic şi substanţial. Varietatea abundenţei informaţiei în anumite limite aduce un aport informaţional semnificativ, din spectrul informaţional al percepţiei fiind eliminate acele benzi în care informaţia este săracă, constantă sau atît de lent variabilă în comparaţie cu durata de viaţă a organismelor respective. Pe de altă parte, tipul de propagare, prin natura purtătorilor specifici de informaţie, poate impune condiţii topologice restrictive, iar topologia implică libertatea de mişcare, acţiune şi decizie, elemente ce nu sînt prezente la toate nivelele de dezvoltare ale vieţii. Problema lărgirii

în mod artificial a benzilor de percepție este poate o problemă de tehnică, care ne va putea facilita accesul la anumite clase de informație pe care materia vie nu a ajuns încă să le utilizeze.

Utilizarea viziunii sistemice în tratarea și rezolvarea unor asemenea probleme este din ce în ce mai mult folosită.

Un sistem este definit, în general, ca un ansamblu de elemente care sînt în relații de interdependență, constituind un întreg organizat.

Oricare domeniu științific presupune un sistem conceptual ce conturează procesele și fenomenele studiate, iar dezvoltarea și perfecționarea lui reprezintă criteriul de apreciere al evoluției acelei științe în mod dinamic și în perspectivă.

Criteriul sistemic este necesar și pentru precizarea unor semnificații diferite pe care le acordă înțelegerii problemei abordate lumea științifică, în scopul utilizării corecte a factorilor de lucru și de progres în fenomenul studiat (legități, date experimentale, ipoteze noi).

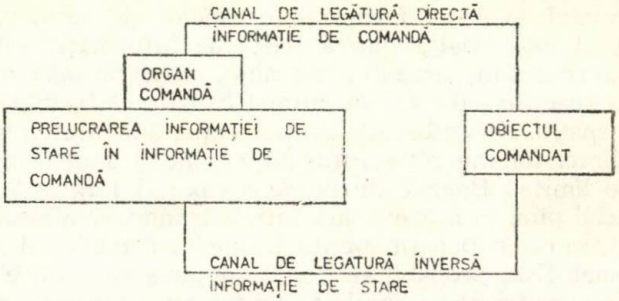


Fig. 5
Schema simplificată a unui sistem de comandă

Nevoia de a îmbrăca sfera conceptuală într-un înveliș concret, de analiză a raporturilor existente în structuri aparent unitare, a dezvoltat și mai mult conceptele sistemice, care s-au conturat în zilele noastre ca un instrument de lucru extrem de eficient în multe domenii mai ales cînd acestea au limbaje deosebite.

Cel mai puțin abordat însă a rămas domeniul biomedical. Poate că Schredder avea dreptate cînd afirma că,

„în toate fenomenele biologice, există o «anarhie reziduală», parte fenomenologică, care este foarte greu de interpretat". Cu toate greutățile aparente sau reale, teoria sistemelor biologice se dezvoltă însă din ce în ce mai pregnant.

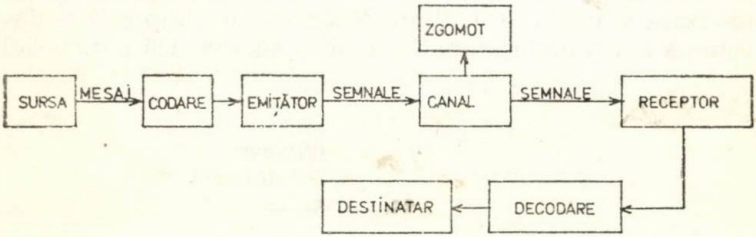


Fig. 6
Elementele unui sistem de comunicare

Dacă așa cum am văzut mai sus, prin noțiunea de sistem înțelegem un ansamblu de elemente care interacționează, formînd un tot organizat și structurat și întreaga realitate este reprezentată prin sisteme în relații ierarhice, atunci viul și neviul, ca diferențe ale existenței materiei în univers, nu pot fi concepute în afara teoriei sistemelor.

Biosistemele caracterizate prin schimbul de substanță, energie și informație cu mediul înconjurător sînt, din punct de vedere termodinamic, sisteme deschise. Aceasta conclude o stare de „steady state" (echilibru dinamic) între sistemul viu și natură. Din punct de vedere integrativ, biosistemele sînt tributare unor niveluri de integrare atît de ordin general cît și individual. Ne referim la nivel individual, la sisteme de organe, de aparate de corelare, de țesuturi și celule, de sisteme funcționale și organice coloidale, moleculare, atomice și subatomice. Sistemele vii sînt tributare astfel nivelurilor treptelor de dezvoltare filo și ontogenetice. Amintim sistemele virale, bacteriale, protozoarele și algele albastre, plantele, organismele superioare, mamiferele, inclusiv omul.

Ținînd seama de faptul că sistemele izolate trec de la o stare entropică mică la o stare entropică mare (conform principiului II al termodinamicii) și de la o stare mai puțiu probabilă la o stare mai probabilă (conform teoriei probabilităților) dovedind reversibilitate de tip (și în timp,

feed-back și feed-before), ele dovedesc o dinamică oscilantă conform observațiilor lui Boltzman (care a remarcat contradicția dintre legile statistice și cele termodinamice în evoluția sistemelor). Apare relevantă tendința organismelor vii de a se manifesta complex, dinamic, ele nefiind sisteme izolate, ci sisteme în continuă perfecționare, organizare și evoluție în timp. Noțiunea de timp o considerăm ca a 4-a dimensiune în analiza sistematică a materiei

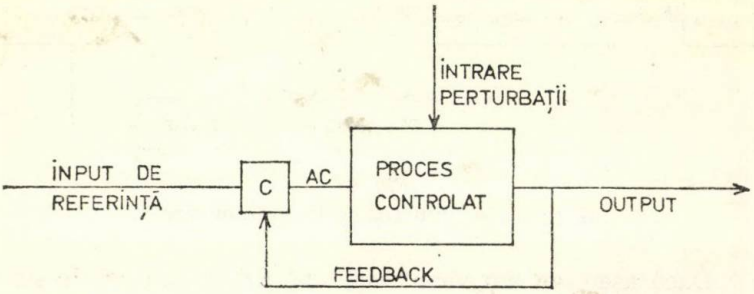


Fig. 7
Schema simplificată de reglare în buclă închisă

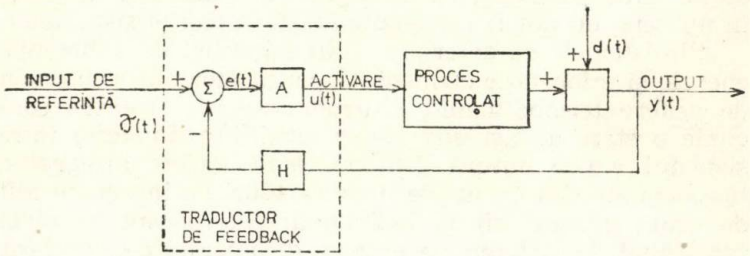


Fig. 8
Schemă detaliată de reglare în buclă închisă

vii în contextul interacțiunii: substanță, energie, informație.

În procesele vii micșorarea entropiei în compensarea acțiunii „parazite" a factorilor exteriori face ca actul să se facă numai în relația variației în timp și așa cum spunea N. Wiener „împotriva curentului termodinamic" și cu „ajutorul structurilor adaptative" (Prigogine).

Amintind că informațiile primite, stocate și prelucrate cantitativ și calitativ în sistemele vii, sînt și genetice și cîștigate mezologic, și deci gradul de organizare a unui biosistem este direct legat de acest fapt, trebuie să menționăm că orice sistem viu prezintă o dinamică individualizată în funcție de organizarea sa structurală și funcțională în raport cu momentul temporal în care se află.

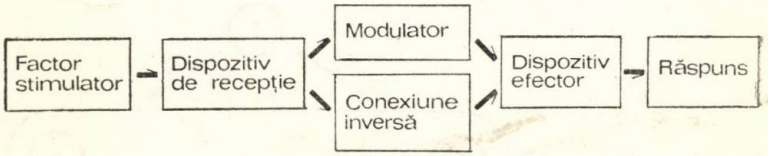


Fig. 9
Circulația iodului în organism

Sistemele vii au însă o organizare spațială corelată cu cea temporală datorită și codului genetic, a bioritmurilor cît și a unor factori reglatori din mediu. Diferențierea structural-funcțional se face astfel în cadrul unei integralități biosistemice. Biosistemele sînt deci intercorelate și interconectate.

Necesitatea menținerii integralității, a echilibrului fluent, a dat naștere mecanismelor de autoreglare, moment al cunoașterii care a tras o linie de legătură între biocibernetică și controlul și comunicarea în sistemele automate tehnice. De astfel, Denis Goulet definește tehnologia ca pe „o aplicare sistematică a raționalității umane colective la rezolvarea de probleme asigurînd controlul asupra proceselor umane de orice tip" și consideră că tehnologia a devenit pentru omul modern ceea ce reprezenta natura pentru omul primitiv. „Mediul tehnologic constituie azi a doua natură și o formă a realității sociale (M. Drăgănescu)".

Științele pluridisciplinare și, în principiu, biocibernetica, bionica, teoria sistemelor și realizările lor tehnologice, încadrate în domeniul biotehnologiei, sînt un instrument modern de concepere a noului, de legătură concretă între cunoaștere, inovație și creativitatea ce conduce la dezvoltarea socială și evoluția biologică. Cunoașterea mecanismelor de funcționare și evoluție din biologie nu poate

fi realistă în afara unei teorii a sistemelor adaptate legităților materiei vii.

Legăturile conceptuale pot fi făcute uneori, așa cum am mai spus, cu ajutorul modelelor matematice. Modelarea matematică nu se poate substitui însă cercetării de specialitate și nici nu poate modela viața, dar împreună cu cercetarea poate duce la o cunoaștere mai bună a obiec-

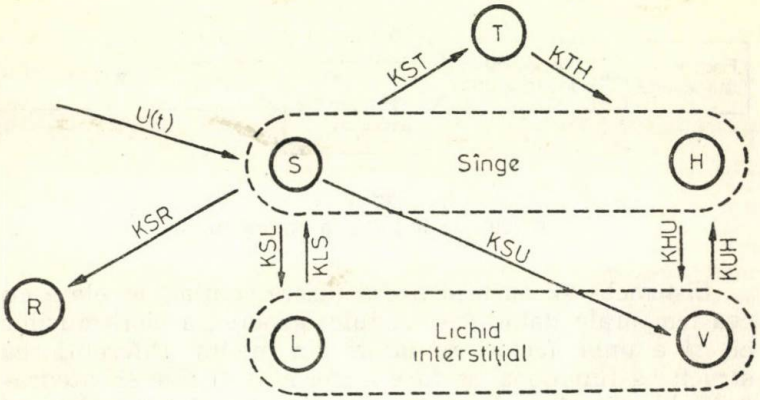


Fig. 10
Schemă calitativă a unui sistem de reglare

tivului studiat, poate oferi indicații noi de cercetare și experimentare. Să ilustrăm această afirmație cu un model simplu privitor la circulația iodului în organism.

Iodul intră în organism prin alimentație, după o funcție cantitativă în care $U(t)$ este masa de iod în sînge sub formă liberă; T este tiroida; S, sîngele ce conține iod liber; H — sîngele cu iod în hormoni; L — lichidele cu iod liber; V — lichidele cu iod în hormoni iar R, rinichii.

După experimente repetate s-a constatat că transferul de iod între compartimente se face după legi de proporționalitate. Evoluția sistemului este descrisă de un sistem de ecuații diferențiale pe care, pentru simplificare, nu-l dăm aici.

Analiza sistemului de ecuații diferențiale permite determinarea influenței controlului unor mărimi reprezentînd praguri pentru cantitatea de iod intrată în organism, care permit buna funcționare a glandei tiroide, deci indi-

cații cantitative privind „zona numerică" în care apare hipo- sau hipertiroidia. Determinarea experimentală, fără modelare matematică, a acestora presupune loturi mari de măsurători și nu oferă certitudinea interconexiunilor dată de raționamentul matematic.

Exemplul prezentat nu este foarte complicat, dar, dată fiind importanța glandei tiroide pentru organismul uman, demonstrează clar interesul unor rezultate și studii sistematice relative la funcționarea ei.

Legat de această problemă se poate utiliza pe larg tehnica de calcul. În același exemplu constantele de proporționalitate K foarte greu de determinat experimental pot fi determinate matematic (folosind transformanta Laplace), dar pot fi evaluate și folosind simularea pe calculator; pentru aceasta se realizează un dispozitiv analogic, care funcționează după legile date de sistemul diferențial prezentat în care se schimbă anumite componente corespunzătoare constantelor, pînă se reliefează funcțiile de intrare și ieșire măsurate ale sistemului iod-tiroidă, determinînd aceste constante aproximativ și se poate studia sistemul diferențial.

Ca observație finală, dacă studiul unui model matematic a dus la un algoritm de determinare, ținînd seama că pentru un sistem complex volumul de calcule necesar este considerabil, utilizarea calculatorului este utilă și chiar necesară.

Pentru o idee mai clară asupra progresului realizat de utilizarea teoriei sistemelor în biomedicină să prezentăm în paginile ce urmează cîteva noțiuni asupra cîtorva feluri de sisteme.

Conform accepției curente, un sistem este un obiect „decupat", împreună cu legăturile sale, din ansamblul interacțiunii universale. Din punct de vedere matematic, aceasta înseamnă izolarea unui set de relații X, caracterizînd influența mediului (intrările sistemului) și a altuia Y, reprezentînd reacțiile obiectului (ieșirile sistemului). În general, atît intrările cît și ieșirile sistemului nu sînt invariante în timp deci X, Y sînt de fapt mulțimi de funcții definite pe o mulțime de momente de timp T cu valori în mulțimile U (pentru X), V (pentru Y). Prescurtat, acest lucru se scrie:

$$X=U^T,\ Y=V^T$$

Acesta este cadrul general, un cadru de ansamblu, în care se poate dezvolta o teorie matematică a sistemelor. Pentru obținerea unor rezultate relevante este necesară însă adiționarea unor ipoteze suplimentare privind relația cu care a fost identificat sistemul, precum și mulțimile X, Y (intrările și ieșirile sistemului). De aceea, teoria matematică a sistemelor se ramifică, studiindu-se separat acele sisteme pentru care relația asociată are o anumită particularitate matematică. În teoria sistemelor vom întîlni deci: sisteme cu număr finit de intrări-ieșiri.

În numeroase situații, mulțimile X, Y se dovedesc a avea număr finit de elemente. În asemenea cazuri, interacțiunile, intrare-ieșire pot fi reprezentate prin niște grafuri-colecții de arce orientate X, Y. Această abordare matematică s-a dovedit fructuoasă în fizică, științe sociale și biologie.

Teoria jocurilor, creată de von Neuman și Morgenstern în context economic, și-a găsit aplicații neașteptate în teoria sistemelor de control, unele probleme din cadrul ei putînd fi privite ca jocuri.

Altă mare direcție în acest cadru finit, cu aplicații în teoria controlului, (lingvistică, psihologie, biologie), este constituită de teoria automatelor. Un automat este un calculator redus la elementele de bază (o intrare la care se introduc simboluri dintr-un alfabet), intrarea și ieșirea fiind conectate prin intermediul unor stări interne tot în număr finit, toate acestea fiind supuse anumitor reguli de calcul care caracterizează automatul.

Sistemele vagi (fuzzy) sînt în atenția biomatematicienilor în ultimii ani. În 1965, inginerul american L. Zadeh a considerat conceptul de mulțime vagă și a recomandat aplicarea lui în situații nedecise, „vagi". Foarte succint, imaginea matematică a acestui concept consideră că pornind de la faptul că o mulțime A poate fi caracterizată prin funcția sa caracteristică X_A;

$$X_A(x)=\begin{cases}0, & X\in A\\ 1, & X\in A\end{cases}$$

deci X_A: $T\to[0, 1]$: Zadeh a definit mulțimea vagă M, ca fiind obiectul matematic caracterizat prin funcția caracteristică $\psi_M : M\to[0, 1]$ deci se consideră o apartenență „gradată" în locul celei uzuale „da-nu".

Dacă relația sistematică are caracter aleator, studiul matematic al sistemului folosește metode din teoria probabilităților și statistică. Se asociază sistemului o variabilă aleatoare și informațiile despre sistem sînt convertite în forma distribuției acestei variabile aleatoare.

Sistemele diferențiale și cu diferențe finite, datorită succeselor deosebite obținute în fizica matematică, sînt cele mai utilizate la ora actuală. Dacă asociem fiecărei perechi intrare-ieșire $x(t)$, $y(t)$ așa-numita stare $Z(t)$, în acest caz relațiile ce caracterizează sistemul sînt de forma:

$$\frac{dz}{dt} = f(z, t);\ y(t) = g(x, t)$$

sau, în cadrul sistemelor cu control, mai intervine funcția de control $u(t)$ în f și g.

Datorită aparatului matematic elaborat pentru asemenea sisteme și, în mod deosebit, pentru cele lineare, numeroase rezultate permit aplicarea lor cu succes în practică. În cazul în care variabila de timp ia valori discrete, ecuațiile diferențiale devin ecuații cu diferențe finite. Discretizarea poate fi folosită cu succes ca o primă etapă de studiu și pentru sisteme cu variația temporală continuă. Dacă se iau în considerare dependențe mai complexe ale derivației de intrare rezultă ecuații funcțional-diferențiale.

Sistemele stohastice, probabiliste, răspund la o largă gamă de întrebări. Dacă sistemului i se asociază o variabilă aleatoare A căreia i se cunoaște densitatea de probabilitate, evoluția sistemului este descrisă de o ecuație diferențială stohastică.

Din succinta trecere în revistă de pînă aici se reliefează ideea exprimată la început: succesul abordării matematice în teoria sistemelor depinde de specificarea tipului de relația matematică asociat sistemului și apoi de posibilitățile matematice de tratare a clasei respective de relații. Iată mai jos o aplicație ilustrativă în biomedicină.

Este vorba de modelul de sinteză a enzimelor (după Monod).

Se știe că proteinele sînt polimeri cu o structură primară din secvențe de aminoacizi precum și cu structuri secundare și terțiare. După Crick, structura primară determină automat structurile secundare și terțiare și deci toate proprietățile funcționale ale polimerului.

Cercetările biologice intense, din ultimele decenii, au dus la concluzia că există anumite baze moleculare ale vieții care, integrîndu-se în diferite moduri sînt capabile de a da naștere variatelor funcții biologice. Astfel, o colecție potrivită de aminoacizi legați în secvență lineară devine un catalizator deosebit de selectiv. Anumite enzime împreună cu molecule de ARN funcționează ca niște coduri, mijlocind legătura dintre nucleotide și aminoacizi. În fine, o colecție bogată de proteine, enzime, ARN, ADN înconjurată de o membrană, poate prezenta capacitatea de autoreproducere. Din succinta enumerare de mai sus se poate afirma că materia vie se structurează, se organizează și proprietățile sale apar din coerența deosebită a unor colecții de unități fundamentale. Această coerență trebuie să fie element fundamental al oricărei teorii biologice și tot ea este cea care permite folosirea teoriei sistemelor la studierea materiei vii.

Specificarea secvenței de aminoacizi se face prin mesagerul ARN. Relația funcțională dintre grupuri de nucleotide și aminoacizi reprezintă codul de specificare a proteinei. Din punct de vedere fizic el este o colecție de tipuri particulare de ARN. Mesagerul ARN este produs de o parte a genomului, gena structurală. Secvența „producția mesagerului ARN-sinteza enzimei" — corespunde secvențial — „semnalului de control-acțiune-control". Stimulul generat de celulă este prezența în exces a substratului ce poate fi catalizat. Trecînd prin decodificator mesajul ajunge la genom, la gena operator. Moleculele represoare care controlează sinteza mesagerului, se produc sub controlul genei regulatoare. Dacă există represori în zona genei operator se produce un semnal care activează gena structurală, aceasta produce mesagerul care, la rîndul lui, specifică sinteza unei anumite enzime, care, în final, acționează asupra substratului. Dacă substratul dispare, se consumă, intră în acțiune moleculele represoare și blochează întregul mecanism descris. Decodificarea constă din inactivarea moleculelor represoare de către substratul asociat enzimei. Aceasta este foarte succint, mecanismul acțiunii genetice.

Este evidentă similitudinea acestei scheme de acțiune genetică cu diagramele teoriei sistemelor? „Mașina de codificat" este o „cutie neagră", tipică, operînd pe două nivele de organizare: intrările formate din triplete de

nucleotide și ieșirile date de setul de aminoacizi care participă la sinteza proteinelor. Legea de funcționare este codul care asociază un anumit triplet cu un anumit aminoacid.

Acest exemplu de organizare biologică nu este singular. De la moleculă trecînd, succesiv, prin nivelele supramoleculare, organite, celule, țesuturi, organe, indivizi apoi spre populație și societate — comportamentul materiei vii este esențial dependent de modul cum anumite componente sînt organizate în formațiuni ordonate și stabile. Structura ierarhică a materiei vii ne permite să privim o formațiune biologică de nivel j ca un sistem compus dintr-un set de formațiuni de nivel inferioare $j(j_1 \dots j_n)$ aflate într-un anumit graf de interacțiune.

De exemplu, din punct de vedere fiziologic, activitatea organismului uman este rezultatul interacțiunii unor subsisteme fiziologice cum ar fi cel cardiovascular, respirator, termoregulator etc. supervizate de sistemul nervos. Fiecare din aceste subsisteme, la rîndul său, este extrem de complex, rezultat al interacțiunii unor componente ale sale.

Iată însă și cîteva dificultăți și limite ale aplicării teoriei sistemelor în biologie. Folosind aparatul matematic teoria sistemelor face abstracție de identitățile fizico-chimice-biologice ale comportamentelor studiate, operînd cu identitățile lor matematice și cu relațiile dintre ele. Succesul metodei ține deci de măsura în care identitatea matematică reflectă adecvat identitatea reală a obiectului, deci de o cunoaștere biofizică-chimică elaborată. Aceasta este de altfel o problemă legată de succesul modelării matematice în general.

Complexitatea sistemelor biologice are repercusiuni negative asupra posibilității sistematice de studiu a lor. De exemplu, noțiunile genetice de fenotip și genotip, care permit caracterizarea evoluției individului printr-o serie de tranziții succesive de la genotipul inițial la fenotipul la un moment dat, duc la un sistem în care spațiul intrărilor și ieșirilor nu este încă nici măcar catalogat. Firește, prin aceste afirmații vrem să subliniem faptul că un sistem biologic reprezintă, conceptual, evoluția în timp a sistemului. Măsurările vectoriale ale lui $y(t)$, reprezentînd ieșiri ale unui sistem, pot fi mărimi de intrare pentru alt

sistem sau pot contribui, în paralel cu mărimile de ieșire ale altor sisteme, la condiționarea stării unui nou sistem.

Interconexiunea poate fi simplă sau complexă, în care caz interpretarea este mai dificilă, fiecare interconexiune fiind un caz particular. În acest sens, teoria sistemelor ierarhizate încearcă să dea răspuns la aceste aspecte și credem că ar fi folosită cu succes în multe domenii biologice, acest nou sistem încadrîndu-se cel mai apropiat în situațiile reale. Organizarea biologică corespunde ordonării ierarhice (organit-celulă-organ-individ etc.). În același timp ar fi necesară o dezvoltare a teoriei ierarhizării sistemelor pentru cazuri tip în care în afara interrelațiilor intrare-ieșire de informație stocată sau elaborată, mai intervin sisteme foarte elaborate de tip probabilist (informație genetică, efecte la interacțiunile organism/mediu, procese de gîndire și decizie etc.).

Înlănțuirea posibilităților de prelucrare sau neprelucrare a unor comportări discontinue dintr-un sistem în altul, creează o nouă serie de dificultăți în interpretarea concretă, exactă, a evoluției unor ansamble de sisteme interconectate, fapt care este caracteristic sistemelor de tip biologic.

Studiile în această direcție necesită o lungă serie de particularizări în funcție de aspectul biologic investigat și clasa de sisteme implicată. Ca un exemplu de studiu mai bine închegat realizat pînă acum se poate aminti abordarea sistemică a unor probleme ecologice. Fenomenologic, obținerea unor ecuații diferențiale care descriu evoluția unui sistem ecologic și al cărui studiu calitativ poate fi suficient de elaborat explică succesul „rezolvării" sistematice a acestor aspecte ecologice.

Un alt exemplu îl constituie interacțiunea dintre materia vie și radiația ionizantă în cunoașterea căreia metode de teoria grafurilor s-au dovedit foarte utile. Implicațiile medicale ale acestor studii sînt evidente îndeosebi în oncologie, radiobiologie, radiogenetică. Teoria laticelor a facilitat implementarea pe computer a unor metode de diagnostic asistate de calculator.

Modelarea sistematică a mediului nuclear poate constitui o arie de mare interes în elaborarea unor teorii a sistemelor biologice cu largi implicații în studiile biotehnologice sau biomedicale.

Ce ne rezervă viitorul?

Organizarea desfășurării și studiului unor acte medicale, organizatorice, de diagnostic sau supraveghere, impun stabilirea unor structuri complexe de sisteme de prelucrare automată a datelor și informațiilor biosanitare. În ceea ce privește cercetarea științifică biomedicală aceasta implică probleme și mai complexe. Ca exemplu, ne referim chiar la identificarea proceselor biologice, care constituie o etapă dificilă datorită:

— complexității lor (număr mare de variabile și parametri de caracterizare funcțională), interacțiuni foarte mari dintre diferitele subsisteme biologice; variația pronunțată a modelelor pentru un proces dat și pentru mai multe procese biologice simultane; caracterul profund neliniar al mecanismelor interne din procese biologice; caracterul aleatoriu de acțiune a diferitelor mărimi perturbatoare.

Utilizarea calculatoarelor presupune în primul rînd o interpretare sistematică a procesului actului medical.

Alegerea configurațiilor sistemelor de calcul se face în concordanță cu complexitatea funcțiilor ce trebuie analizate, cu gradul de accesibilitatea la pacient prin interferențe corespunzătoare.

Prezentul și viitorul subliniază importanța pentru tehnologia biologică a formării unor specialiști bine pregătiți în domeniul automaticii bioinginerești.

Recunoașterea de forme — domeniu de viitor

Recunoașterea formelor *(pattern recognition)* și inteligența artificială sînt domenii de interes primordial studiate în beneficiul biotehnologiei, avînd importante aspecte aplicative mai ales în medicină, în tratamentul imaginilor, lecturi optice automate, recunoașterea vorbirii și în special în robotica medicală. Ele contribuie în mod dinamic la dezvoltarea unor ramuri industriale și a unor programe de comandă, de generare de planuri de inspecție a proceselor, studiul unor texturi, analize de imagini, teledetecție.

Modul de caracterizare a diferitelor obiecte naturale sau artificiale, prezentarea reprezentărilor tipice și com-

pararea cu modelele logice din ierarhiile conceptuale obținute pe baza unor date experimentale a conturat domeniul „reprezentării cognitive" din care fac parte și noțiunile de *pattern recognition* și inteligența artificială.

Prin *formă* se înțelege „tipar, model care servește pentru a da unor materiale o anumită înfățișare, un anumit aspect exterior". În lumina acestei definiții prin *recunoașterea de forme* se poate înțelege identificarea idealului, exemplului perfect, după care un obiect dat a fost făcut. Aceasta ne apropie de ideea lui Platon, conform căreia obiectele din lumea reală sînt replici imperfecte ale formelor ideale.

În psihologie, recunoașterea de forme este definită ca procesul prin care: „semnale externe care ajung la organele de simț sînt convertite în experiențe perceptuale semnificative".

Consecința conceptului de „ideal de formă" se realizează printr-un proces inductiv în care observatorul *abstractizează* conceptul, prin observarea mai multor exemple imperfecte. Acest proces este denumit *învățare cu un instructor*, dacă exemplele arătate sînt etichetate ca reprezentînd un ideal dat, *fără instructor*, dacă observatorul își construiește singur modelul pe baza experienței acumulate. Procesele mentale prin care aceste sarcini sînt realizate sînt foarte complexe și nu sînt decît parțial cunoscute.

Recunoașterea de forme este un proces realizat nu numai de oameni, dar și de animale și are o valoare de supraviețuire definită în sens evoluționist. Într-adevăr, „abstractizarea" permite unui organism să reacționeze la noile situații în care se află cu mediul înconjurător într-o manieră similară aceleia care s-a dovedit necesară și utilă prin experiența anterioară cu situațiile de același tip. La organismele inferioare (în sens biologic) „modelele abstracte" pot fi limitate la pericol, hrană, reproducere. Organismele superioare au dezvoltat în decursul evoluției speciei circuite nervoase foarte eficiente. Importanța biologică a recunoașterii de forme este ilustrată de faptul că sistemul nervos este mult mai eficient și prompt în îndeplinirea unor sarcini cu valoare de supraviețuire decît, de exemplu, pentru realizarea calculelor numerice.

Calculatorul electronic depășește posibilitățile umane de realizare a unor operații numerice complicate. S-a în-

cercat atunci utilizarea lui în situații practice ce implicau funcții mentale numerice complexe, ca de exemplu recunoașterea de forme.

Recunoașterea de forme electronică este de un deosebit interes practic, găsindu-și aplicabilitatea în automatizarea unor sarcini plicticoase sau a unora care trebuie realizate în condiții grele (sortarea corespondenței, controlul calității și asamblarea părților mecanice ale unei piese, analiza imaginilor pământului luate din sateliți, a fotografiilor camerei cu ceață din fizica nucleară, numărătoarea diferențială a leucocitelor, realizarea cariotipului genetic etc.).

Contribuții la dezvoltarea acestui domeniu nou au adus și alte discipline: statistica, psihologia, lingvistica, informatica, biologia, taxonomia, teoria comunicației, teoria controlului etc. Rezultă din contribuțiile acestora că tratarea matematică a recunoașterii de forme urmărește cunoașterea și formalizarea principiilor generale ale recunoașterii, fie că imită sau nu procesele mentale umane, astfel încît rezultatele sale să poată fi folosite și în alte discipline decît acelea din care au provenit.

În cadrul unei astfel de teorii unificatoare, problema recunoașterii de forme poate fi conceptualizată în modul următor:

— *forma fizică a obiectului real* (ex. radiografia cord-pulmon) reprezentat printr-o continuitate a parametrilor, ceea ce face, în esență, să fie infinit dimensional. Poate fi perceput de un sistem traductor oarecare care introduce datele sale în spațiul formei traduse;

— *spațiul formei traduse,* descrierea obiectului real obținută cu ajutorul traductorului. Transformarea de la spațiul formei fizice infinit-dimensionale la spațiul formei traduse are drept rezultat o descriere a formei cu ajutorul a R valori scalare, unde R este foarte mare (de ex. în cazul radiografiei, pentru a o introduce în memoria unui calculator, ea poate fi descrisă printr-o matrice de 100 ori 100 puncte sau R=10 000);

— *spațiul descriptorilor,* spațiul formei traduse (R — dimensional redus la un spațiu N — dimensional, N mult mai mic decît R) astfel încît regulile recunoașterii propriu-zise să poată fi calculate într-un timp rezonabil (în cazul radiografiei pentru clasifica-

rea unor afecțiuni cardiace sînt necesare diametrele inimii);

— *spațiul clasificării,* spațiul *K*-dimensional format din *K* clase, dintre care una va fi aleasă prin algoritmul de calcul (exemple de afecțiuni cardiace: stenoza mitrală, boala mitrală, insuficiența cardiacă).

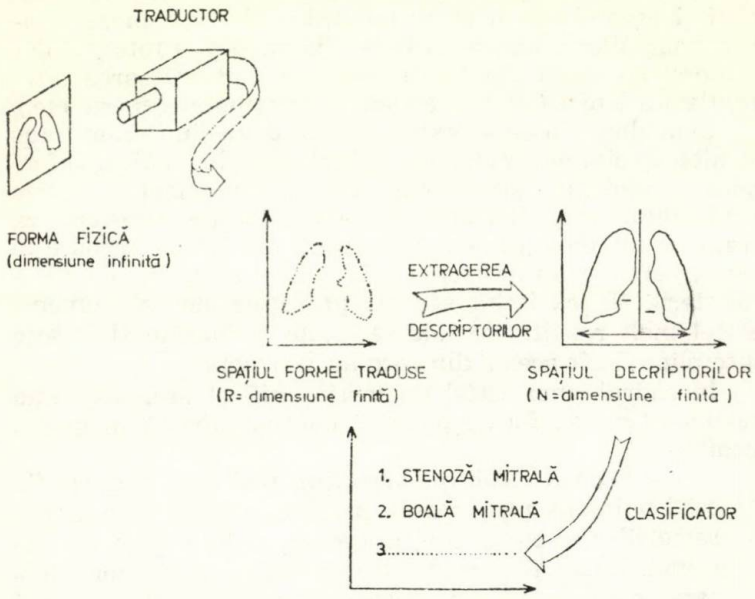


Fig. 11
Recunoașterea de forme

Un program pe calculator, care să traducă în viață conceptul de mai sus, trebuie să parcurgă mai multe etape. Aceste etape, mai mult sau mai puțin obligatorii pentru o aplicație dată, sînt ilustrate în fig. 12.

Diagrama bloc a etapelor recunoașterii de forme cu calculatorul:

Intrarea numerică, mijlocul de intrare și echipamentul de conversie analog-numerică (ex. camera TV și convertizorul A/N care transformă radiografia într-o matrice de 100 ori 100 puncte și a căror valoare corespunde strălucirii imaginii).

Anteprelucrarea: programele utilizate pentru a inversa fenomenele degradării semnalului precum și pentru a suprima zgomotul introdus îndată de către echipamentul de conversie analog-numerică. De asemenea, programele utilizate pentru a scoate în evidență anumite proprietăți ale datelor care sînt mai importante decît celelalte pentru stadiile ulterioare ale recunoașterii (ex. colorarea imaginii).

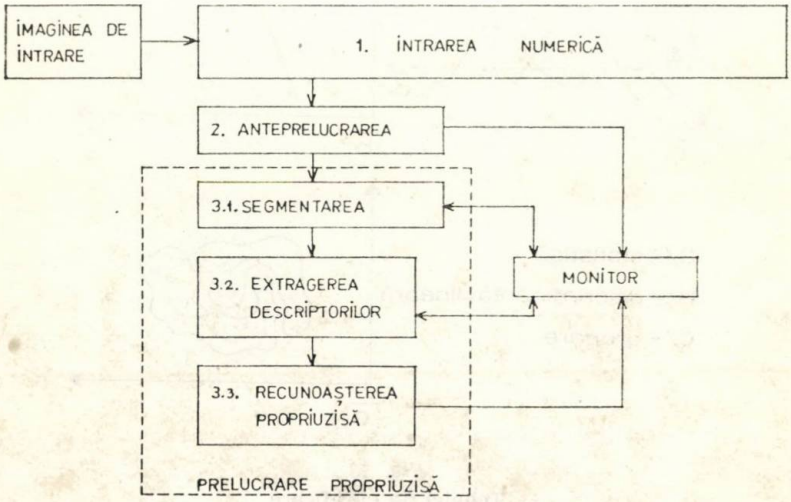


Fig. 12
Diagrama bloc a recunoașterii formelor cu calculatorul

a) *Segmentarea* cuprinde acele metode și tehnici utilizate pentru localizarea informației semnificative din fluxul de date (ex. granița dintre inimă și plămîni pe o radiografie).

b) *Extragerea descoperirilor*, obținerea proprietăților (culoare, convexitate, concavitate etc.), a valorilor măsurătorilor (lungime, suprafață etc.) pe baza cărora se realizează recunoașterea.

c) *Recunoașterea propriu-zisă*, programele de clasificare și/sau descrierea informației semnificative din fluxul de date (ex. diagnosticul de boală mitrală).

Monitorul are drept scop crearea unui feed-back, astfel încît în funcție de rezultatele obținute la una din etapele de mai sus să se poată utiliza această informație pentru îmbunătățirea performanțelor uneia dintre etapele anterioare.

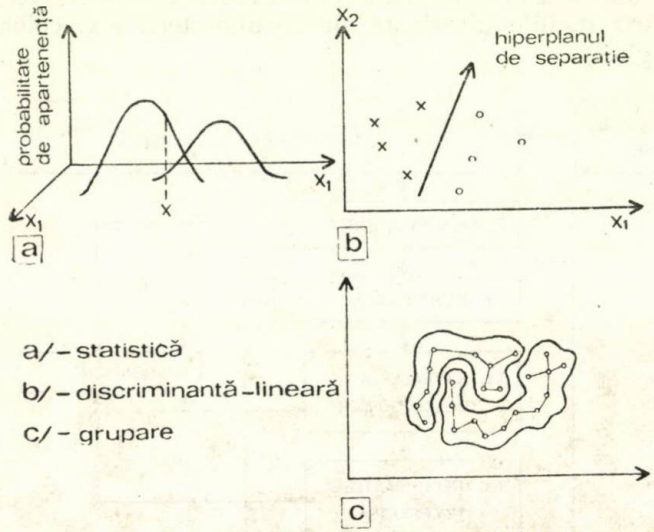


Fig. 13
Tehnici de clasificare

Realizarea unui automat care să realizeze recunoașterea de forme într-un domeniu dat implică din partea constructorului său străbaterea a încă două etape importante:

a) Selectarea descriptorilor = procesul prin care, dintr-o mulțime dată de descriptori sînt aleși aceia care reține majoritatea informației necesare clasificării formei, eliminînd în același timp descriptorii care aduc o informație redundantă. Selectarea descriptorilor duce la reținerea optimală a unui minim de descriptori în timp, care mențin și/sau maximizează probabilitatea recunoașterii corecte. Selectarea descriptorilor este un proces euristic, bazat pe experiența trecută și de multe ori aceasta însăși nu poate explica care a fost fundamentul deciziei sale. Aceasta

face foarte dificilă modelarea procesului de selectare a descriptorilor așa cum este cel realizat de către om.

Tehnicile matematice de selectare a descriptorilor sînt aplicabile la spații ale descriptorilor de ordin mare și eficacitatea lor crește pe măsură ce dimensiunile spațiului cresc.

b) *Instruirea algoritmului de recunoaștere* are drept scop stabilirea condițiilor în care un algoritm de recunoaștere dat poate indica apartenența la una din clase a unui obiect nou, necunoscut, în cazul unei aplicații date. După modul în care se realizează acest proces se disting două tipuri de instruire: *supravegheată* în care se pornește de la obiecte cu clasificare cunoscută, *nesupravegheată* în care se construiesc treptat clasele de apartenență ale obiectelor.

Noțiunile prezentate mai sus au caracter de generalizare, putînd fi decelate în majoritatea sistemelor practice de recunoaștere de forme. În cele ce urmează vom detalia etapele de anteprelucrare și prelucrare propriu-zisă, ilustrînd cele expuse cu exemple din medicină.

Înainte de aceasta trebuie să arătăm că în funcție de dimensiunea lor formele pot fi deosebite în următoarele categorii:

— *forme cu o singură dimensiune*, forme în care sînt implicați doar doi parametri, unul fiind în funcție de celălalt (ex. ECG în care amplitudinea semnalului electric este în funcție de timp).

— *forme cu două dimensiuni*, forme în care sînt implicați trei parametri, o variabilă (ex. nuanța de gri) fiind în funcție de alte două variabile (coordonatele x și y ale planului imaginii).

— *forme tri-dimensionale* în care un parametru (ex. coeficientul de atenuare a razelor X) este în funcție de alți trei parametri (coordonatele x, y și z din spațiul punctelor unui corp prin care trec razele X). În cazul unui proces dinamic (ex. cineangiocardiografia) nuanța de gri de pe film este funcție de x și y (coordonatele punctului din planul imaginii) precum și de t (momentul în care se ia imaginea).

— *forme multidimensionale*, cel mai ilustrativ exemplu fiind diagnosticul medical.

Ilustrarea etapelor de anteprelucrare și prelucrare propriu-zisă se va face cu ajutorul electrocardiogramei

(ca exemplu de formă cu o singură dimensiune) și cu radiografia toracică posteroanterioară (ca exemplu de formă bidimensională). Formele cu trei sau mai multe dimensiuni pot fi relevate cu ajutorul generalizării algoritmilor amintiți la formele bidimensionale. Aplicațiile practice care să implice recunoașterea de forme tri-dimensionale sînt mai puțin numeroase și nu au fost studiate în amănunt. Menționăm totuși: instalațiile realizate la Harward și MIT, care diferențiază țesuturile sănătoase de cele bolnave prin impulsuri electromagnetice și radio, care se vizualizează tridimensional pe ecrane conectate la un computer.

Etapa de anteprelucrare a semnalului este constituită din programe ce pot fi cuprinse în două mari categorii:

— programele de restaurare a semnalului;

— programele de creștere a semnalului.

Restaurarea semnalului poate fi definită ca fiind reconstrucția fidelă a formei fizice originale prin inversarea unor fenomene de degradare, fenomene care apar în cursul obținerii semnalului, precum și eliminarea zgomotului introdus în datele semnalului de către echipamentul de conversie analog-numerică.

Tehnicile de restaurare necesită cunoașterea fenomenului de degradare precum și modelarea sa pentru a putea încerca o inversare a acestui fenomen.

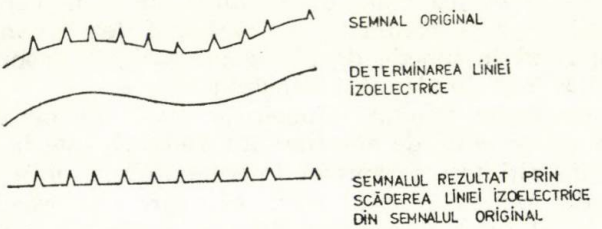


Fig. 14
Fenomenul de degradare în cazul unei ECG

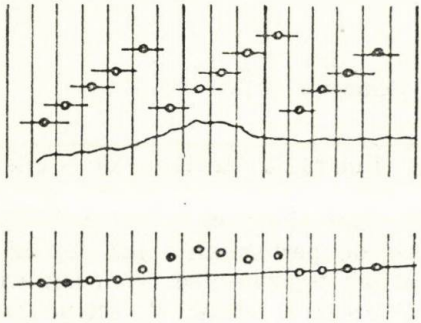
În cazul ECG un fenomen de degradare este deviația de la linia izoelectrică a semnalului datorită respirației. Fig. 14 ilustrează această degradare și rezultatul aplicării unui algoritm pentru inversarea sa.

În cazul imaginilor, sursele obișnuite de degradare sînt cele spațiale (turbulențele atmosferice, aberațiile sistemului optic, lipsa de focalizare, mișcarea obiectului în planul imaginii).

Majoritatea ecuațiilor care modelează obținerea imaginii sînt de natură convoluțională și conduc prin reprezentarea lor echivalentă Fourier la descrierea unor filtre.

Tehnicile de creștere a semnalului au drept scop evidențierea unei informații „ascunse" în fluxul de date originale. În efortul lor de a evidenția informația utilă analizei umane sau cu calculatorul, aceste tehnici pot diminua ceva din informația conținută de semnal.

Aplicate cu precădere la imagini ele cuprind retopirea sau accentuarea contrastului, pseudocolorarea și falsa colorare.



a) UNDA P CU ZGOMOT ȘI SUPRAPUNEREA INTERVALELOR DE SUMARE

b) UNDA P DUPĂ SUMARE

Fig. 15
Netezirea undei *P* cu zgomot cu ajutorul sumării pe intervale ce se suprapun

Fig. 15 prezintă netezirea undei *P* cu zgomot cu ajutorul sumării pe intervale ce se suprapun.

Segmentarea semnalului cuprinde acele metode și tehnici utilizate pentru delimitarea informației semnifi-

cative din fluxul de date. Strategia segmentării este bazată de obicei pe parcurgerea descendentă a unei structuri ierarhice (arbore) în care se încearcă mai întîi localizările formațiunilor mari și ulterior decelarea detalii-

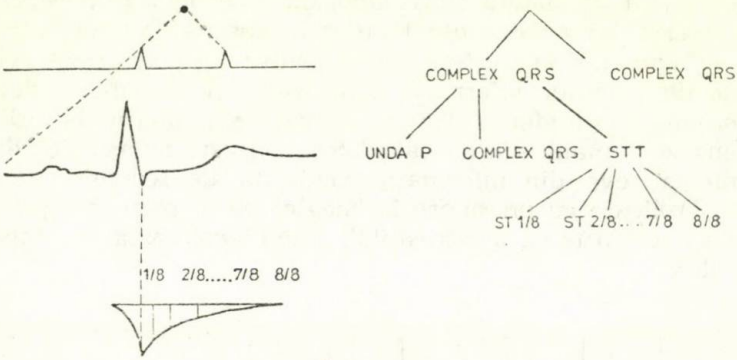


Fig. 16
Segmentarea ECG

lor mai fine. Fig. 16 ilustrează strategia de segmentare a unei ECG.

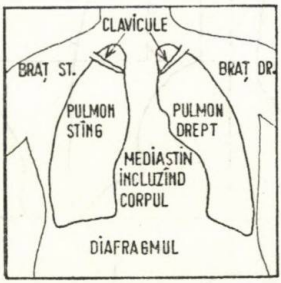
Tehnicile de segmentare sînt numeroase și de un deosebit interes deoarece de performanța lor depind celelalte etape ale prelucrării propriu-zise. Vom aminti doar cîteva dintre cele mai utilizate tehnici de segmentare.

Detectarea și delimitarea complexului QRS de pe ECG se realizează cel mai adesea pe baza primei sau celei de a doua derivate scalare, fie pe semnalul analogic, fie pe datele digitale filtrate (vezi fig. 17). În mod obișnuit detectarea este realizată prin căutarea uneia sau mai multor pante care depășesc niște valori-prag date. Algoritmi mai complecși modifică aceste valori-prag în funcție de pantele complexelor QRS deja detectate.

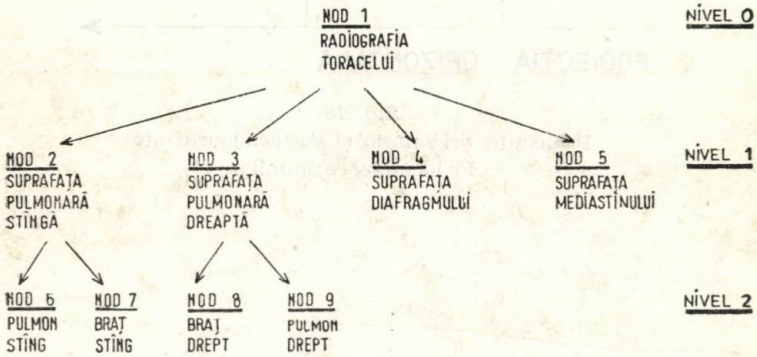
Dintre tehnicile utilizate frecvent în segmentarea radiografiilor amintim:

— tehnica proiecțiilor care constă în sumarea pe o anumită direcție a valorilor nuanțelor de gri ale punctelor imaginii. Profilul unei astfel de proiecții poate indica o regiune de interes din planul imaginii.

— tehnica histogramei nuanțelor de gri este o tehnică simplă dar foarte utilă în segmentarea imaginilor de celule. Dacă se presupune că imaginea este constituită din două tipuri, de regiuni cu nuanță de gri diferite, histo-



a)



b)

Fig. 17
Delimitarea complexului QRS de pe ECG

grama nuanțelor de gri din imagine va avea un aspect bimodal. La limita dintre cele două regiuni se află identificarea minimului dintre cele două module. Dacă nuanța de gri este mai mare decît nuanța de gri care corespunde

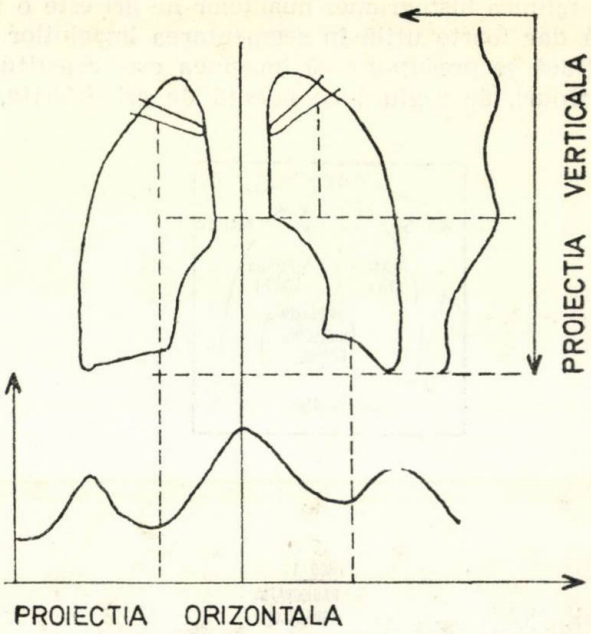


Fig. 18
Proiecțiile orizontală și verticală utilizate
în localizarea inimii

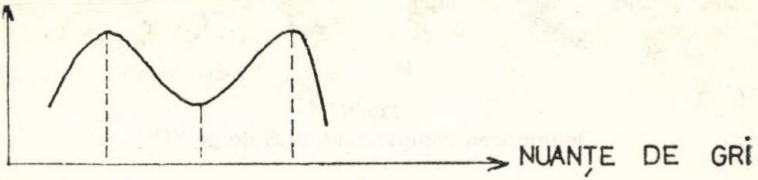
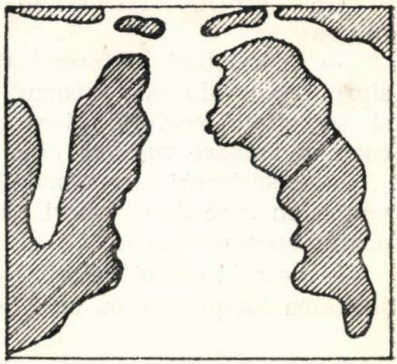


Fig. 19
Histograma binodală a nuanțelor de gri
a unei imagini cu două regiuni diferite

Fig. 20
Aplicarea tehnicii histogramei nuanțelor de gri la segmentarea radiografiei toracice post-anterioare



minimului histogramei atunci acel segment aparține unei regiuni, iar dacă este mai mică decît această valoare-prag aparține celeilalte regiuni (fig. 20).

Algoritmul propus de Johnston și Rosenfeld determină colțul, pe baza unghiului format de cele două derivate

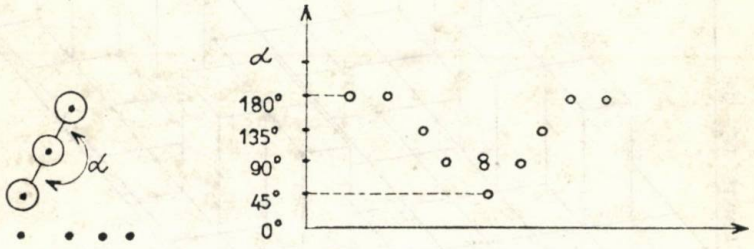


Fig. 21
Algoritmul lui Johnston și Rosenfeld de corectare a colțurilor unui contur

parțiale la stînga și la dreapta sa. Fig. 21 ilustrează algoritmul de detectare a colțului imaginat de Johnston și Rosenfeld.

Etapa de exagerare a descriptorilor reprezintă cea de-a doua problemă cheie de recunoaștere de forme, după segmentare.

Prin noțiunea de descriptor înțelegem valorile măsurătorilor (diametru, suprafață, perimetru etc.) sau proprietățile (culoare, curbură) ale semnalelor și obiectelor.

Una dintre clasificările descriptorilor este următoarea:

— descriptori ai formei (în sens geometric); cel mai simplu exemplu este raportul dintre pătratul perimetrului și suprafața regiunii circumscrise. Acest raport tinde către o valoare minimă cînd regiunea este rotundă;

— descriptori ai texturii (de exemplu distribuția frecvenței cu care două valori ale nuanței de gri apar într-o poziție spațială dată);

— descriptori ai valorii folosiți mai rar deoarece majoritatea imaginilor cu care se lucrează sînt alb-negru.

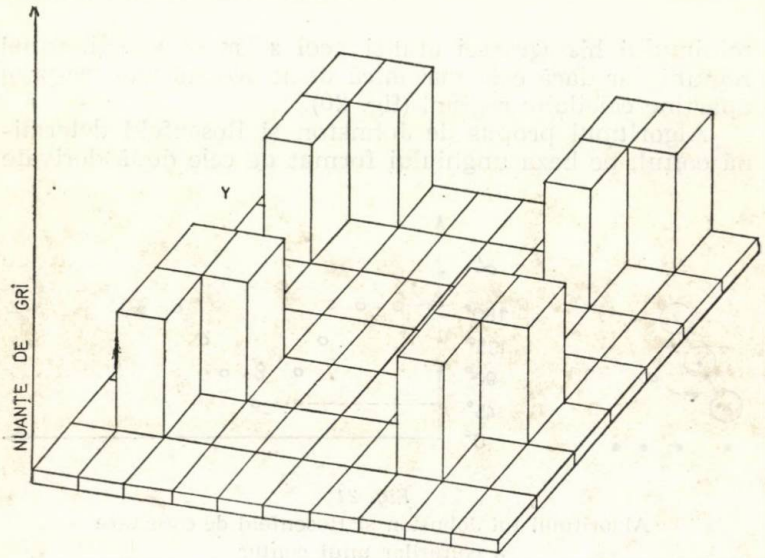


Fig. 22
Ilustrarea conceptului de textură

Dacă concepțiile de formă (în sens geometric) și culoare sînt ușor de definit, în schimb conceptul de textură nu a fost încă bine definit. Se poate prezenta textura ca fiind caracterizată prin:

— constituenți elementari (sau primitivi) din care textura imaginii este formată. Aceștia sînt regiuni de dimen-

siune, formă şi nuanţe de gri diferite, alcătuite din unul sau mai multe puncte ale imaginii;

— organizarea spaţială a constituenţilor elementari care poate fi aleatoare, structurală sau funcţională. Cînd

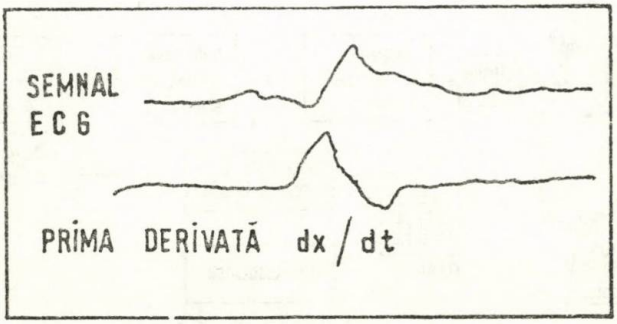


Fig. 23
Ilustrarea detectării complexului QRS

organizarea spaţială a componenţilor elementari de mici dimensiuni este aleatorie şi variaţiile nuanţelor de gri sînt mari se vorbeşte despre o textură „fină". Pe măsură ce organizarea spaţială devine mai bine definită şi componenţii elementari sînt de dimensiuni mai mari se vorbeşte de o textură „aspră". Descriptorii extraşi în cazul ECG se bazează, în general, pe măsurătorile cantitative realizate în cardiologie (vezi fig. 23).

Recunoaşterea propriu-zisă: etapa finală a unui program de recunoaştere de forme care realizează o decizie de apartenenţă a unui obiect la o clasă de obiecte ale cărei caracteristici sînt înregistrate în memorie. Ea cuprinde numeroase tehnici matematice ce pot fi grupate în două abordări generale:

— abordarea clasificării care urmăreşte stabilirea apartenenţei unui obiect la o clasă dintr-un număr finit de clase;

— abordarea descriptivă care urmăreşte ca printr-un text dintr-un limbaj natural (sau un limbaj care să poată fi tradus uşor într-un astfel de limbaj natural) să fie produsă o descriere a obiectului.

Tehnicile de clasificare sînt cele mai bine studiate și pot fi împărțite în:

— tehnici statistice care încearcă să stabilească probabilitatea apartenenței unui obiect la o clasă;

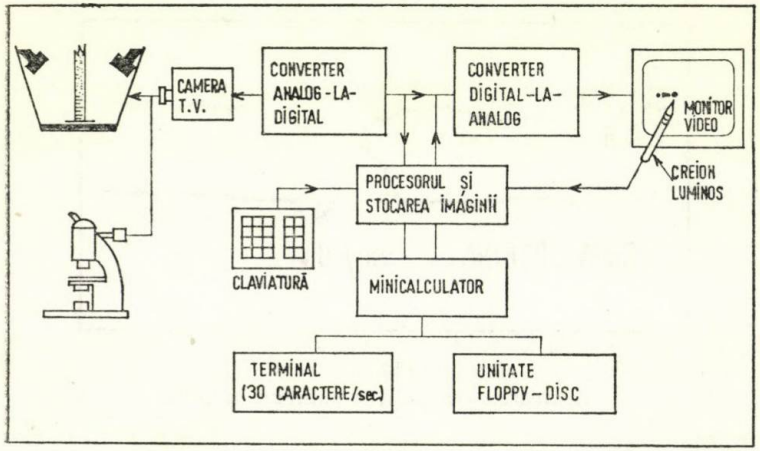


Fig. 24
Diagrama unui sistem de prelucrare a imaginii microscopice prin telecameră pe 625 linii

— tehnici de discriminare care încearcă să afle dacă obiectul se află situat (în spațiul descriptorilor) de o parte.

METABOLISMUL, TERMODINAMICA BIOLOGICĂ ȘI EREDITATEA — COMPONENTE INTERACTIVE ÎN CERCETAREA BIOTEHNICĂ

Principalul factor al existenței și dezvoltării organismului viu, metabolismul, reflectă și exemplifică concret, prin caracterul său dualist, contradictoriu, noțiunea filozofică de unitate dialectică. După cum este bine cunoscut, metabolismul este alcătuit din două procese contrarii care coexistă și se condiționează reciproc: asimilația și dezasimilația. Un aspect interesant derivat din existența acestor două procese este caracterul autoinhibitor pe care îl manifestă orice sistem viu.

Metabolismul este caracterizat și prin alte procese contradictorii. De pildă, marea labilitate și plasticitate a substanței vii în opoziție cu caracterul conservator pronunțat conferit de proteine. Invariabilitatea relativă a mecanismelor de desfășurare a metabolismului față de diversitatea mare a formelor biologice reprezintă o expresie a existenței unității în pluralitate. Nu trebuie omisă în argumentarea aspectului dinamic al metabolismului nici unitatea organism-mediu cu implicațiile cunoscute, de transformare a organismelor sub influența mediului și, invers, de transformare a mediului sub influența organismelor.

Metabolismul trebuie să îndeplinească în sistemul viu trei roluri fundamentale. În primul rînd formarea unor structuri specifice. Acesta este rolul *plastic* și el este asigurat prin sinteza proteinelor. Apoi existența în interiorul acestor structuri a unor dispozitive care să asigure o producere constantă de energie, acesta fiind rolul *energetic*, care este asigurat în special de glucide, dar și de celelalte principii alimentare. Recent se vorbește și despre un al treilea rol al metabolismului, rolul de adaptare și de conservare a *homeostaziei*. El se efectuează

prin mecanisme speciale cum ar fi acelea care reglează compoziţia mediului intern şi duc la elaborarea anticorpilor, hormonilor, stimulatorilor biologici etc.

Să urmărim un exemplu pentru înţelegerea desfăşurării proceselor metabolice, plecînd de la cunoaşterea unor caracteristici de acţiune ale enzimelor. Enzimele au un caracter adaptativ. Aceasta înseamnă că concentraţia enzimelor creşte o dată cu cea a substratului, sinteza lor fiind indusă de substratul specific. Legea acţiunii maselor, după care intensitatea cu care este transformată o anumită substanţă într-un proces chimic depinde de concentraţia ei iniţială, îşi confirmă valabilitatea în dinamica enzimatică. Reacţiile enzimatice au un caracter reversibil, potenţial, nemanifestat însă în procesele biologice (produşii reacţiilor fiind îndepărtaţi imediat, reacţia se desfăşoară într-un singur sens) şi un caracter secvenţial, treptat, evitînd astfel eliberarea bruscă de energie în cantităţi mari, nocive pentru organism. Ca urmare a acestui caracter al reacţiilor enzimatice, blocarea unei anumite enzime într-un lanţ de reacţii afectează atît verigile anterioare prin staza materialului şi acumularea de produşi intermediari cît şi verigile ulterioare cărora nu le mai este furnizat substratul alimentar.

La prelucrarea unui singur produs intermediar participă mai multe lanţuri de enzime şi intervine ceea ce se numeşte o ramificare a căilor metabolice, esenţa controlului metabolic constînd în selectarea dintre mai multe alternative.

O altă caracteristică a reacţiilor enzimatice este cuplarea reacţiilor exergone şi endergone, cele din urmă desfăşurîndu-se pe seama energiei furnizate de primele. Viteza cu care se desfăşoară întregul lanţ de reacţii metabolice este determinată de viteza unor reacţii specifice cu rol reglator. Ele sînt puncte de intervenţie a reglării neuroendocrine şi a prelucrării unor substanţe toxice.

Reglarea funcţiei sistemelor enzimatice se realizează în principal prin mecanismul de „feed-back". O parte din energia rezultată din funcţionarea sistemului influenţează, în calitate de informaţie, primele etape ale procesului („intrările"). Feed-back-ul pozitiv se manifestă prin intensificarea procesului după informaţia primită (autoexcitaţie, autocataliză), iar cel negativ este constituit de inhibarea procesului ulterior manifestîndu-se la ni-

velul sistemelor enzimatice prin represiunea enzimatică, care constituie inhibarea sintezei pentru enzimele care nu sînt necesare la momentul respectiv, deoarece produsul activității lor se găsește în mediu.

Un alt aspect al dinamicii enzimatice este integrarea chimică la nivelul molecular, reprezentată prin aceea că același ferment poate participa la procese metabolice diferite. Se induce în celule o competiție pentru resursele plastice și energetice, care joacă un rol important în influențarea reciprocă a metabolismelor, Astfel, a fost recent emisă o ipoteză care explică antagonismul dintre glicoliză și respirație, prin competiția pentru fosfat. Respirația are o afinitate deosebită față de acest compus și duce la scăderea lui în mediu, iar potasiul la rîndul său, ajungînd la un nivel minimal, declanșează funcționarea ciclului lui Krebs (ciclu în care are loc biosinteza în ficatul mamiferelor).

Un prim lanț de reacții energogene caracterizează glicoliza anaerobă. Ea pornește de la hexoze (glucoză, fructoză etc.) ducînd la acid piruvic, care se poate transforma în acid lactic sau poate fi degradat mai departe intrînd în ciclul lui Krebs, care reprezintă o cale comună pentru degradarea tuturor substanțelor biologice active. A fost stabilit faptul că mai există și un al doilea mod de degradare universală a glucidelor, în majoritatea sistemelor vii, mod care participă la producerea de energie în proporție variabilă de la organism la organism. S-ar părea că acesta are un rol fundamental în asimilația clorofiliană și în obținerea de energie la multe bacterii și ciuperci. O mare parte din energie utilizată în organism se produce pe seama proceselor respiratorii.

Una dintre problemele legate de studiul respirației asupra căreia se centrează interesul cercetătorilor este dependența metabolismului ionic față de procesele respiratorii, adică stabilirea raportului cantitativ precis între numărul de ioni de Na^+ transportați prin membrană și numărul de molecule de O_2 consumate.

Este interesant de studiat motivul pentru care sinteza glicolitică a ATP, nu poate substitui sinteza respiratorie a ATP, chiar și în celulele cu o glicoliză înaltă. Ar trebui bine stabilit dacă ATP citoplasmatic (glicolitic) este diferit ca structură de ATP mitocondrial (respirator). Acest fapt se studiază în prezent cu ajutorul unei

aparaturi speciale şi utilizînd modele simulate pe calculator.

Celulele tumorale prezintă o glicoliză extrem de intensă care coexistă cu respiraţia. După părerea biochimistului german Otto Heinrich Warburg formarea celulelor canceroase nu ar fi decît o consecinţă a dereglării ireversibile a respiraţiei fapt care poate fi înscris genetic şi se poate transmite din generaţie în generaţie. Observaţii recente au dus la concluzia că celulele tumorale au posibilitatea să folosească compuşi fosfatici cu energie mai mare decît ATP. Pentru explicarea glicolizei excesive a celulelor tumorale s-a emis ipoteza după care în ele degradarea este atît de rapidă încît căile normale fiind insuficiente se face apel şi la fermentaţie. Sînt interesante prin implicaţiile lor încercările de precizare a semnificaţiei fiziologice a respiraţiei şi fermentaţiei. Astfel excitaţia ar fi caracterizată prin predominarea fermentaţiei iar inhibiţia prin creşterea eficienţei oxidaţiei. Intensificarea procesului de metabolism ar sta la baza creşterii reactivităţii. Inactivitatea ar reprezenta fie un echilibru între consumul şi refacerea legăturilor macroergice, fie epuizarea lor.

Despre creşterea protoplasmei vii ne pot furniza date trei categorii de substanţe: proteinele, acizii nucleici şi fosfolipidele. Dintre acestea proteinele sînt cele care ne dau informaţiile cele mai preţioase deoarece ele sînt împreună cu acizii nucleici depozitare ale informaţiei privind specificităţile organismului. Specificitatea biologică este realizată prin varietatea nesfîrşită de combinare a „pietrelor de construcţie" şi este eficientă prin complementaritatea de detalii în structura moleculelor care acţionează.

Cuplarea aminoacizilor în lanţuri proteice este un proces endergonic şi în consecinţă se desfăşoară fiind cuplat cu alte reacţii donatoare de energie. Ea mai are şi caracteristica de a fi un proces specific, specificitatea fiind indusă de tiparele acizilor nucleici.

De un deosebit interes sînt procesele de reglare ale metabolismului proteic. În sinteza proteinelor intervin în calitate de catalizatori o serie de vitamine B_1: acidul pantotenic şi acidul tiolic intervin în metabolismul acidului piruvic şi în ciclul lui Krebs; în transportul hidrogenului intervine vitamina B_2; vitamina B_6 intervine în

transportul aminoacizilor. În privința rolului hormonilor în metabolismul proteic este interesant de amintit faptul că sinteza proteică ca și catabolismul proteinelor decurg *in vitro* și absența hormonilor, dar se consideră că în organism aceste procese sînt puternic influențate de hormoni. Astfel hormonii anabolici ar favoriza sinteza proteică, iar hormonii cu efect preponderent catabolizant (tiroxina, hidrocortizonul) ar produce liză celulară la nivelul țesutului limfoid și dezintegrarea anumitor proteine, ducînd la creșterea rezervei de aminoacizi circulanți. Alte relații dintre hormoni și metabolismul proteic sînt date de legătura hormonilor cu proteinele sîngelui care le vehiculează. Astfel, extrogenii cresc gradul de legătură al hormonilor cu proteinele vectori, putînd produce în felul acesta o stare hiperhormonală în sînge.

Ca principiu al desfășurării normale a sintezei proteinelor trebuie reținut faptul că este necesar ca organele și țesuturile să conțină, în anumite proporții, toți aminoacizii esențiali. De exemplu concentrația unui aminoacid esențial cum este triptofanul determină intensitatea sintezei proteice. Dacă cantitatea disponibilă de triptofan este numai parțial folosită din cauza prezenței în cantitatea insuficientă a unui alt aminoacid esențial, restul de triptofan nefolosit urmează alte căi de metabolism ducînd la producerea de substanțe toxice nocive pentru organism. Același lucru se întîmplă și în sinteza substanțelor enzimatice, fiind necesară prezența simultană a tuturor materialelor constitutive.

Producerea anticorpilor este o modalitate particulară a sintezei proteice. După unii autori, în producerea anticorpilor antigenul servește ca matrice pentru confecționarea unei structuri secundare corespunzătoare. După alții, anticorpul este produsul specific al unei celule limfoide capabilă să sintetizeze un singur fel de molecule. În acest caz răspunsul imunologic nu este decît un proces de selecție a mutantelor somatice în populația de limfocite.

Tot în legătură cu sinteza proteică este interesantă teoria lui Young care, pornind de la ideea că există diferențe extrem de mici de compoziție și de specie a hormonilor protidici, a emis ipoteza după care asemenea diferențe pot apare și în cadrul aceleiași specii, prin mutații sau prin alte procese anormale. Am putea avea deci

în locul hormonului insulină un „material insulinoid" cu structură asemănătoare dar cu proprietăți diferite. Această alterare de structură ar explica apariția multor boli endocrine.

Printre modificările reversibile apărute la nivelul sistemelor coloidale proteice se încearcă explicarea elaborării stimulului nervos și recepționarea lui de către organele efectoare. În repaos, proteinele din axoni se găsesc în faza de reticul slab hidratat și de aceea rețin numai ionii slab hidratați (K) expulzînd în spațiile interaxonale ionii cu mare putere de hidratare (Na). În timpul excitației are loc hidratarea sistemelor coloidale cu retenție de Na și de polarizare. Această hidratare a proteinelor are loc prin ruperea punților care leagă polipeptidele crescînd puterea de atracție a moleculelor față de ionii de Na. Această teorie nu este încă unanim acceptată, dar faptul că în timpul excitației și supraexcitației nervoase cantitatea de amoniu și de produși de degradare proteică din celulele nervoase crește ar putea servi drept argument în favoarea ei.

Transformările proteinelor structurale dețin locul principal în numeroase leziuni etiologice și histologice. În general, tulburările metabolismului proteic din leziunile tisulare pot fi împărțite în trei categorii: *denaturările* care sînt reversibile, *degradările* și *remanierile* în care apar și persistă calitativ diferite mutații cu valoare biologică minoră.

Hormonii prin concentrațiile minime la care acționează seamănă cu vitaminele și cu enzimele. Ei reprezintă un sistem de control al acțiunilor vitale fundamentale, control care se exercită prin inhibiție și stimulare, mai precis prin modificări de viteză la nivelul reacțiilor celulare. Hormonii se mărginesc să „influențeze", ei sînt biocatalizatori funcționali suprapuși fermenților tisulari a căror activitate o reglează. Foarte multe date atestă că impregnarea hormonală modifică activitatea sistemelor enzimatice. Se pot da multe exemple în acest sens. Ni se pare interesant de relevat numai teoria după care hormonii (în special adrenalina și insulina) acționează asupra legăturii dintre fermenți și biocoloizi, asupra procesului de trecere a fermentului din stare dismorfă în stare biomorfă și invers. În elaborarea acestei ipoteze s-a pornit

de la marea diferență care există între efectul net al hormonilor asupra enzimelor tisulare și efectul slab asupra sistemelor enzimatice simplificate *in vitro*.

Unul dintre rolurile cele mai importante ale hormonilor în metabolismul celular este influențarea permeabilității fiziologice, adică a intrărilor și a ieșirilor substanțelor active din celule. Astfel se consideră că activitatea hexochinazei este o acțiune specifică a insulinei. Astăzi se știe că ea nu este decît consecința activării intrării glucozei. Influențarea permeabilității membranelor prin intermediul hormonilor se reflectă și în prelevarea aminoacizilor de către celule. Transportul concentrativ al aminoacizilor prin membrane nu este un proces de simplă difuziune, ci un proces activ care se petrece cu consum de energie. Se admite că aminoacizii sînt activați de ATP după ce au pătruns în celule și apoi sînt transportați la microzomi unde are loc sinteza proteică. Creșterea sintezei proteice sub influențe hormonale n-ar fi decît o consecință a creșterii transportului prin membrane. Mecanismul de transport al aminoacizilor se face în colaborare cu factori organospecifici, care explică acțiunea specifică a diferiților hormoni.

Este interesant de studiat, prin implicațiile sale, problema acțiunii hormonului tiroidian. Hormonul tiroidian are o acțiune de creștere a consumului de oxigen, dar cu scăderea eficienței proceselor respiratorii nu numai la nivel celular, ci și izolat la nivel mitocondrial. Se consideră că hormonul tiroidian reacționînd cu ioni de Mg^{+++} alterează permeabilitatea membranei mitocondriale, provocînd „umflarea" acesteia, fapt care duce la modificarea topografiei fermenților oxidanți. Umflarea mitocondriilor crește permeabilitatea membranei permițînd un transport mai viu de metaboliți.

Una dintre teoriile recente asupra mecanismului de acțiune a hormonilor este aceea potrivit căreia hormonii acționează în același timp asupra diferitelor metabolisme, iar în cadrul unei linii metabolice asupra mai multor puncte dintr-o dată. Astfel hormonii de tipul cortizonului acționează paralel asupra metabolismului glucidic, lipidic și hidromineral.

„Punctele de atac" sau de intervenție ale hormonilor

pot fi deduse după natura evenimentelor modificate, după succesiunea lor.

Considerînd acțiunea hormonilor în organism, luat ca întreg, trebuie avută în vedere acțiunea lor „permisivă". Ea se exprimă prin aceea că mici cantități de hormoni sînt necesare pentru buna desfășurare a răspunsurilor tisulare sau celulare. Aceste răspunsuri depind de prezența supraliminară a hormonului, adică de pragul său și nu se intensifică proporțional cu creșterea concentrației acestuia. Acțiunea permisivă a hormonilor trebuie conectată și cu acțiunea de sensibilizare a țesuturilor pentru acțiunea altor hormoni. Deci hormonii au o acțiune sinergică și nu pot fi studiați decît împreună.

O altă constatare interesantă, referitoare la modul de acțiune a hormonilor, este aceea că hormonii nu acționează în forma în care sînt eliberați de glande, ci la nivelul țesuturilor efectoare sînt supuși intervenției unei enzime specifice care îi transformă în derivați activi, care pot acționa fără perioadă de latență. Astfel hormonii tiroidieni (tiroxina și triiodotironina) sînt transformați în derivații propionici, acetici și aminici. Cercetări recente tind să demonstreze că produsele intermediare de metabolism ale hormonilor sînt cele care intervin în procesele biocatalitice. Experiențele efectuate în acest sens ni se par deosebit de interesante prin concluziile care se desprind. Astfel fixarea hormonilor de proteine pare să aibă un important rol fiziologic. Trebuie să deosebim proteidizarea de inactivare de proteidizarea funcțională. Se pare că trecerea hormonilor de pe unele proteine pe altele are un rol important în mecanismul acțiunii hormonale. De asemenea depolarizarea și denaturarea unor hormoni protidieni (de exemplu ACTH) are în organism un anumit scop, un anumit rol funcțional.

Nu este deci corect să apreciem funcția unei glande endocrine numai în funcție de hiper- sau hipo- producția de hormoni, deoarece concentrația hormonului în sînge nu reflectă întotdeauna eficiența sa. Produsele intermediare de metabolism ale hormonilor sînt cele care intervin în mod activ la nivel celular și tisular.

Cercetările de biochimie și chimia moleculară în încercarea de a descifra noi mecanisme ale reglării proceselor biologice, în vederea intervenției în scopul reparării accidentelor fiziologice survenite sau a dirijării unor meta-

bolisme vor avea o importanță considerabilă. Totodată este evidentă necesitatea abordării unor asemenea studii cu ajutorul unei aparaturi de mare finețe și fiabilitate. Problema metabolismelor include unul dintre cele mai pasionante preocupări ale ingineriei biologice a zilelor noastre.

Să încercăm în continuare cîteva scurte incursiuni în studiul unor dereglări la nivel molecular.

Dacă prelungim preocupările biologiei moleculare în sfera biociberneticii și proceselor informaționale ne aflăm în fața unui șir de întrebări și probleme deosebit de complexe referitoare la mecanismele de apariție, de producere și acțiune în timp a unor fenomene cu largi implicații în patologia metabolică și ereditară.

Desigur că o astfel de investigare implică un larg cîmp al ipotezelor și modelării experimentale. Este interesant să subliniem că numeroasele lucrări efectuate pînă în prezent au vizat substratul material (fizico-chimic) al proceselor sau cel energetic informațional al genezei și desfășurării unor reacții biologice. Ele au căutat să elucideze cauzele procesului deviat fără a considera și posibilitatea existenței unor paralelisme și mecanisme naturale care ar seconda procesul fiziologic în evoluția sa.

Pentru ca cititorul să-și dea mai ușor seama de importanța acestor probleme vom face o incursiune succintă asupra cîtorva aspecte ale maladiilor și tulburărilor aparente la nivel molecular, enzimatic.

Vom utiliza cîțiva termeni biochimici și medicali pentru a ne introduce în atmosfera complexă a cercetărilor moleculare și pentru a sublinia odată mai mult importanța biochimiei moleculare și a ingineriei genetice în cunoașterea și rezolvarea labirintului de interrelații din organismele vii.

Considerăm posibilitatea existenței unor mecanisme primare „clasice" ce dublează, secondează sau substituie momente sau etape din unele cicluri biologice la nivel subcelular și molecular. Să ne referim pe scurt la cîteva aspecte din cadrul capitolului biosintezei proteinelor.

Codul genetic caracterizează cel mai deplin legătura dintre acizii nucleici și proteine. Catalogul de codare al secvenței trinucleotidelor (ca un control al încorporării aminoacizilor în proteine) este bine cunoscut. Manifestările celulare definite ale legăturilor și relațiilor codului

genetic este găsită în activitatea de sinteză a proteinelor. Acest fapt sugerează posibilitatea ca în studiul sintezei proteinelor și al originii codului genetic să imaginăm sisteme experimentale în care legăturile peptidice să fie existente, acestea sintetizîndu-se activ în prezența poli-

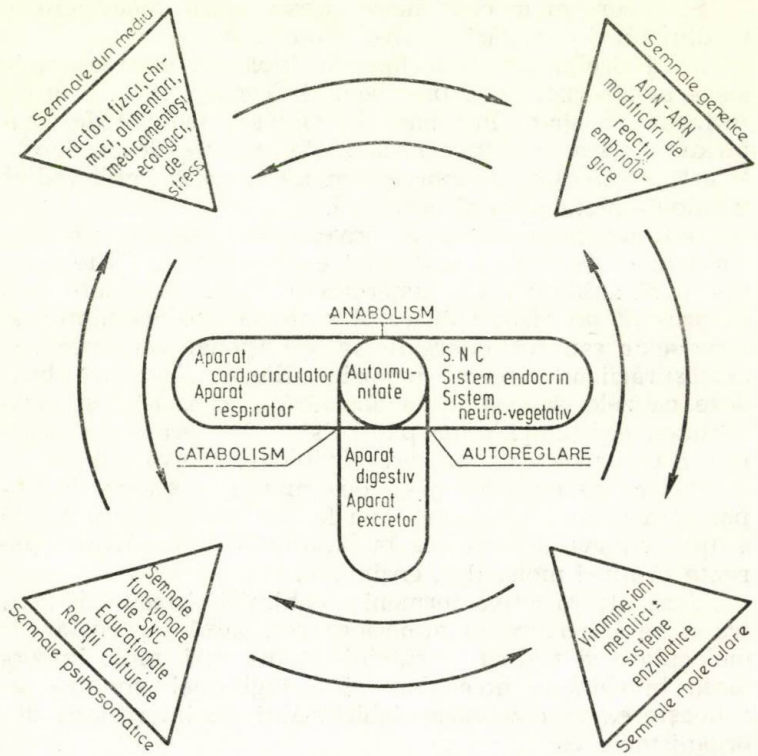


Fig. 25
Integrarea sistemelor moleculare
cu cele funcționale și de autoreglare
prin intermediul S.N.C., a factorilor genetici
și de mediu

nucleotidelor. Se naște întrebarea: pot oare polinucleotidele să influențeze formarea peptidelor plecînd de la adenilați aminoacili? Deocamdată, eforturile încununate de succes în ceea ce privește găsirea modelelor care să

rezolve această problemă sînt cele raportate de către Nakashima și Fox care au stabilit condițiile în care substanțele fabricate, pornindu-se de la proteinoizii bogați în lizină și poliribonucleotide, creează posibilitatea unirii aminoacizilor din adenilații aminoacili într-o manieră codonică. Cunoscînd procesele translației ne vom putea întreba în ce fel acizii nucleici direcționează sinteza proteinelor putînd avea prioritatea înaintea activității existenței ribozomilor și a aparatului mitocondrial complex. Există o ipoteză care susține faptul că proteinele se nasc independent, implicînd apariția transcripției și translației între două sau mai multe specii macromoleculare, fiecare în parte, fie asociată, condiție obligatorie pentru evoluția care a continuat pînă astăzi. Deoarece este cunoscută presiunea de selectivitate asupra evoluției și cunoaștem vasta majoritate de funcționalități biochimice constante la proteine, selecția naturală reclamă logic molecule asemănătoare proteinelor. Proteinoizii sînt capabili de a furniza asemenea substrat pentru selecția naturală, izolînd microsistemele. Informații pentru sintezele acestor proteine timpurii pot fi obținute din mediu prin cunoașterea formei, concentrației, a pH-ului, a puterii ionice și a proprietăților fizico-chimice ale diverșilor aminoacizi participanți în interacțiuni. Energia pentru aceste reacții inițiale de sinteză poate de asemenea să fie furnizată din mediu prin sursele termice. Faptele experimentale acumulate pînă azi sînt elocvente pentru a demonstra apariția spontană a ATP, urmată de activitatea neenzimatică a aminoacizilor în prezența cationilor.

Adenilații aminoacili acționează pentru polimerizarea spontană pînă la producerea peptidelor. Astfel, sistemul de sintetizare a peptidelor dezvoltă o sursă de energie ușor de întrezărit, pe deasupra un asemenea sistem se pare că poate să suporte modificări și are o labilitate biochimică adaptativă. Persistența funcționării de-a lungul timpului, în ontogenie, a cerut o responsabilitate crescută a structurii pentru funcționalități precizate și necesitatea ca acestea să fie duplicate (există un proces de copiere pentru structurile care sînt funcționale). Fiecare împrejurare de duplicare funcțională poate fi concepută prin copierea negativă a proteinelor (Lederberg, 1959; Orgel 1968) și prin alegerea informației pentru sinteza proteinelor. Posibilitatea interacțiunii dintre proteinele-

enzime, aminoacizi şi peptidele intermediare, pentru producerea produşilor peptidici şi secvenţelor controlate rigid, a fost demonstrată de către Lipmann, 1971, în biosintezele studiate la gramicidină. Un sistem de translaţie direct acţionează asupra legăturii zahăr-fosfat al unei molecule de ARN, heteropolinucleotidele putînd să fie provizoriu catalizate pentru formarea peptidelor specifice, care continuă întregirea tiparului lor. Din necesitatea de a avea proteine libere pentru acizii nucleici, procesele selecţiei naturale vor elimina un asemenea mecanism al translaţiei, exceptînd acele situaţii în care un asemenea complex este funcţional, ca în ribozomi.

Posibilitatea de modelare experimentală completă asupra evoluţiei, pornind de la enzimele preexistente, pare să fie promiţător de bogată. Prin existenţa originii aparatului genetic, în lumina faptelor şi raţionamentelor prezentate aici, scurgerea informaţiei în evoluţia timpurie pare a avea următorul sens: mediu-protoproteine-proteine-ARN-ADN. În mod evident, combinarea proceselor de transcripţie (ADN—ARN) plus translaţia (ARN--proteine) este mult mai complicată decît translaţia singură. Conceptele, oricît ar fi de logice, solicită găsirea unor standarde utilizabile şi presupun pentru dezvoltarea lor ulterioară construirea în laborator a unor noi modele.

Acceptarea existenţei unor asemenea acţiuni „suplimentare", în mecanismul actual evoluat al dinamicii enzimatice, ar putea genera cercetări ale căror rezultate ar explica şi remedia o serie de dezordini de tip metabolic-ereditar.

Energia unui sistem este repartizată între toate entităţile sale. Datorită energiei lor de translaţie, aceste entităţi se deplasează, se întîlnesc şi schimbă energia între ele, dar acest fenomen este imprevizibil, se face hazardat. Cu toate acestea, aceste interacţiuni pot fi parţial controlate cu ajutorul unor legi care în medie se verifică.

Un mare număr de noduri de repartiţie diferită a entităţilor constitutive al unui sistem pot da acelaşi rezultat global observabil, adică un acelaşi stadiu macroscopic.

Numim realizabilitate i al unui stadiu macroscopic i numărul de feluri (moduri) în care se pot repartiza entităţile între toate nivelele de energie şi toate poziţiile accesibile pentru a ajunge la acest stadiu iar complexitatea parţială Ci logaritmul neperian al realizabilităţii.

Un sistem în care nu se produc schimbări este un sistem *conservativ*. Fluctuațiile constante în vecinătatea acestui stadiu poartă numele de stadiu de echilibru și reprezintă o compensare statistică între influențele forțelor antagoniste. De obicei sistemele izolate nu sînt conservative, schimbîndu-și „compoziția" în cursul evoluției. Rezultă o variație a realizabilității totale (care este numărul total de noduri de a repartiza entitățile constitutive în spațiu și între toate nivelele de energie pentru a obține un anumit stadiu) și totodată o variație a realizabilității stadiului de echilibru.

Sistemul nu-și schimbă compoziția decît dacă realizabilitatea stadiului de echilibru în noua sa formă este superioară realizabilității vechiului stadiu de echilibru. În consecință — complexitatea stadiului de echilibru către care tinde în orice moment un sistem izolat nu poate decît să crească, iar complexitatea crescîndă relevă că situațiile energetice sau spațiale accesibile entităților sale constitutive sînt din ce în ce mai diversificate.

Dacă două sisteme — anterior izolate — sînt puse în contact, se poate ajunge la un schimb de energie, fără o variație al numărului total al modului de repartiție a entităților, adică fără variația complexității globale. Un astfel de schimb de energie precum și transformările interne concomitente caracterizează sistemele reversibile.

Pierderea de energie dintr-un sistem, care afectează numai repartiția entităților între diferite nivele energetice, fără alterarea acestor nivele, este o pierdere de căldură. Cînd sînt afectate numai nivelele de energie, fără modificări ale repartiției, este vorba de o pierdere *de lucru de energie*.

Pentru sisteme în echilibru între ele, cînd un schimb de căldură infinitesimal se produce în condiții conservative din punct de vedere energetic pentru întreg ansamblul, avînd variații neglijabile, variația complexității energetice *dCe* / adică variația complexității care nu ia în considerare decît variațiile posibilităților de repartiție între nivelele de energie pentru stadiul de echilibru al fiecăruia din ele, este legată de cantitatea de căldură, de *Q*, prin relația fundamentală:

$$dQ = KTdCe$$

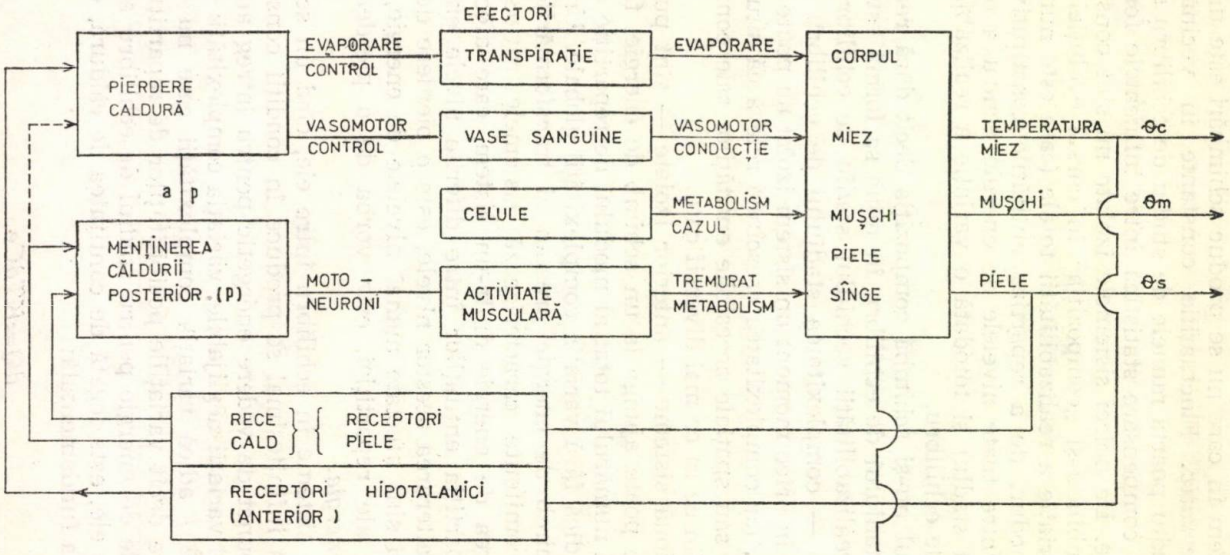


Fig. 26

Căile informaționale în sistemul de termoreglare (după Milsum)

unde K este constanta Boltzmann ($1{,}3 \times 10^{-23}$ joule) și T, temperatura absolută (care se măsoară cu un termometru cu gaz perfect).

Această relație arată că variația complexității energetice al stadiului de echilibru multiplicat cu K este egală cu variația entropiei — așa cum e definită în termodinamica clasică.

Variația complexității energetice a unui stadiu de echilibru deci și a entropiei, au același semn ca și dQ: ea poate fi negativă cînd sistemul cedează căldura mediului exterior în mod conservativ.

O transformare oarecare a unui ansamblu de sisteme, în particular, un schimb de căldură între ele, nu poate avea loc efectiv decît dacă antrenează trecerea ansamblului într-un stadiu mai probabil, adică dacă se face în condiții nonconservative.

Această variație suplimentară dCg este calificată ca gratuită. Pentru un sistem o putem scrie:

$$dCg > 0$$

Fiecare din sisteme se transformă cu schimb de căldură și eventual de lucru cu celălalt dacă inegalitatea de mai sus este satisfăcută. Rațiunea transformării nu este numai o rațiune energetică dar și una de probabilitate: nu numai ansamblul celor două sisteme va trece direct într-un stadiu mai probabil, dar va tinde către o stare de echilibru de o mai mare realizabilitate, deci mai probabilă decît cea anterioară.

Într-un moment inițial, sistemul este presupus a fi în echilibru cu mediul exterior restrîns, neexistînd decît transformări finite care mențin stadiul de echilibru. Creșterea complexității în momentul trecerii din echilibru inițial în echilibru final în cazul unor categorii de transformare, ca de pildă reacțiile chimice, poate fi exprimată prin variația unei anumite mărimi F și este pentru transformări infinit de mici — în relație cu lucrul mecanic schimbat W exprimat prin relația:

$$\Delta Ceg = \frac{\Delta W - \Delta F}{KT}$$

Cînd sistemul este în echilibru, complexitatea sa spațială nu variază și de asemenea nici complexitatea energetică. Vom avea:

$$\Delta Ceg = 0$$

Condițiile de echilibru sau regim staționar impun:

$$\Delta F = \Delta W.$$

Practic, un mediu extern „oarecare" poate ceda sau accepta o „mare" cantitate de căldură, fără ca temperatura să varieze mult și fără a se transforma într-un mod sensibil. El va schimba căldura în el însuși sau cu un alt sistem în condiții aproape identice cu condiții de conservabilitate (reversibilitate) și va putea ceda totodată și lucru (energia) dar fără să primească. În aceste condiții nu poate fi decît negativ iar o valoare pozitivă a lui ΔCeg implică ca ΔF să fie negativ.

Organismele vii trăiesc sub o presiune sensibil constantă în ceea ce privește în special complexul de reacții chimice.

Condițiile variației gratuite a complexității va fi egală cu:

$$(\Delta F — P\Delta V)\ KT.$$

Este comod să considerăm mărimea: $\Delta G = \Delta(F + PV)$, pentru a defini oarecum reacția spontană, admițînd un travaliu furnizat sistemului prin presiunea mediului exterior. În aceste cazuri, condiția necesară pentru ca transformarea să se producă este:

$$\Delta G < 0.$$

În realitate numeroase sisteme rămîn un timp considerabil într-un stadiu nestabil și sînt susceptibile să evolueze, fie sub efectul unei perturbații minore, fie grație intervenției unui catalizator.

Foarte des evoluția unui sistem natural este provocată de evoluția unui alt sistem, care-l „constrînge" să schimbe cu el energia sub formă de căldură sau lucru.

Subliniem aici în mod deosebit că în mod contrar a ceea ce se crede în mod obișnuit, în sistem (ansamblu particular de molecule) nu există tendința de a se realiza o situație în care moleculele se vor găsi la nivelul de energie cel mai jos posibil. Această idee are ca origine interpretarea relației $dF < 0$, după care diminuarea lui F corespunde la trecerea la nivelul de energie cel mai jos.

Ori, veritabila condiție a evoluției unui sistem este că orice variație a complexității, care nu este compensată

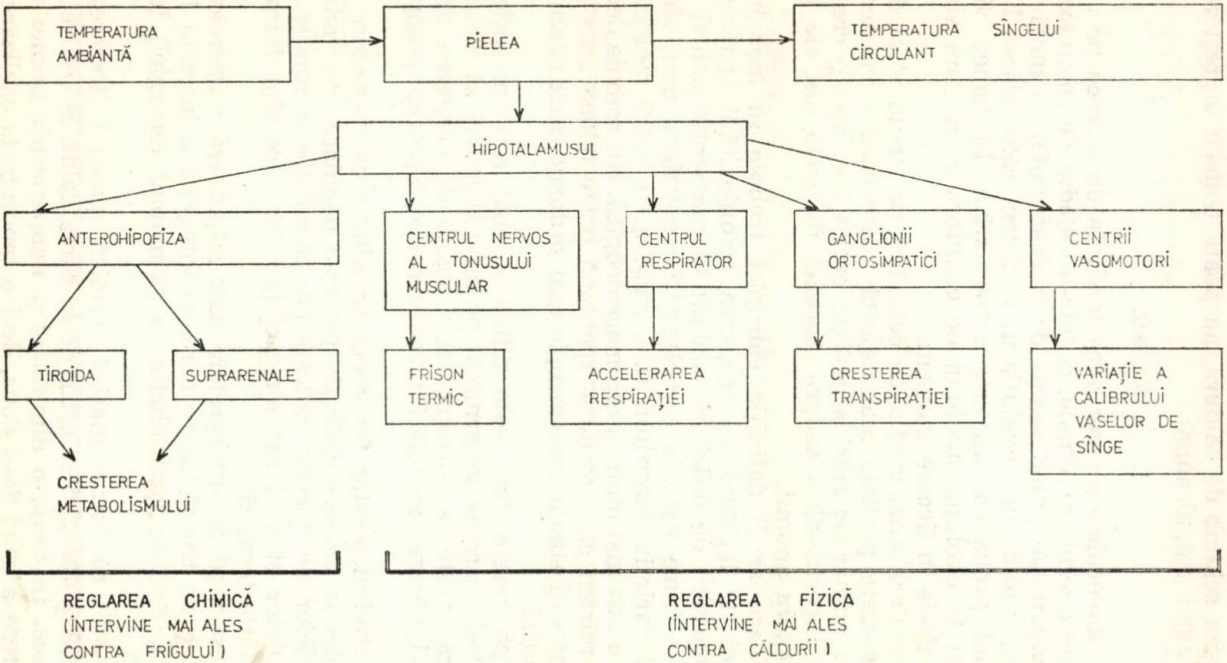


Fig. 27
Schema sinoptică calitativă a mecanismelor termoreglării

printr-un schimb de căldură, nu poate fi decît o creştere, adică avem întotdeauna:

$$dCg > 0.$$

Adică moleculele nu vor avea tendinţa de a trece pe un nivel de energie minimală, ci într-un stadiu de complexitate maximală, ţinînd seama de interacţiunile cu mediul. Practic, întotdeauna evoluţia unui sistem către starea lui cea mai probabilă, nu este conservativă. În lumea vie asistăm la evoluţia stadiului de echilibru către care sistemul tinde în fiecare moment.

Înlocuirea unui stadiu de echilibru printr-un altul de complexitate parţială mai ridicată antrenează o creştere a unui număr de stări accesibile entităţilor, deci o creştere a incertitudinii asupra situaţiei fiecăreia din ele la un moment anumit.

Oricare ar fi definiţia entropiei trebuie să marcăm lipsa ei de legătură cu creşterea complexităţii spaţiale. Este deosebit de dificil de stabilit în momentul actual o legătură între variaţia complexităţii spaţiale a unui sistem şi variaţia dezordinii sale, chiar şi la scara moleculară, cu atît mai mult la cea macroscopică. Nu trebuie deci să ne mirăm că o evoluţie spontană poate aduce un sistem într-un stadiu macroscopic mai *ordonat* decît stadiul său iniţial.

După aceste date, este dificil să mai reţinem raţionamentele care au determinat pe diferiţi autori să considere că creşterea entropiei este legată de creşterea dezordinii, părerea actuală fiind că lucrurile se petrec aproape invers.

În studiul acestor fenomene se admite că o creştere a entropiei se traduce definitiv printr-o populare crescîndă, a nivelelor de energie ridicate (de translaţie şi rotaţie a moleculelor şi a vibraţiilor atomilor lor care sînt forme de agitaţie termică).

Acest mod de interpretare care stipulează numeroase procedee de transformare aproape integrală a lucrului în căldură, este în contradicţie cu principiul (energiei) lui Carnot.

Se ştie că într-o maşină termică, pasajul (trecerea) continuă a energiei calorice de la sursa caldă la cea rece provoacă, în timp, o diminuare a temperaturii primei şi o creştere a celei de-a doua, deci o tendinţă la egalizarea

temperaturii intermediare. Această concluzie conduce la ideea morții termice a universului. În realitate, acest principiu nu este aplicabil decît la corpuri particulare.

În numeroase cazuri creșterea numărului de moduri de repartiție pe diferite nivele de energie rezultă din achiziția de către entități a unor noi forme de energie, de pildă din trecerea atomilor în stadii excitate sau mai simplu din apariția a noi interacțiuni fără creșterea temperaturii. Numeroase reacții chimice sînt endotermice și provoacă absorbția căldurii prin anumiți constituenți, diferențele de temperatură între constituenți opunîndu-se uniformizării temperaturii. Deci nu poate fi vorba de moarte termică, de creștere a dezordinii, ci de faptul că universul devine din ce în ce mai complicat.

Aceasta devine și mai evidentă la viețuitoare. Singularitatea entităților vii constă tocmai în stupefianta complexitate a structurilor, aparent perfect adaptate nevoilor posesorilor lor și în același timp la nu mai puțin uimitoarea coordonare existentă între fenomenele vieții. În mare însă, apariția structurilor în sistemele vii poate fi înglobată în legea generală a evoluției sistemelor pe care am prezentat-o mai sus folosind modelul termodinamic.

În problema mecanismului de producere a bioenergiei, amintim o ipoteză chimioscopică, pentru cunoașterea mecanismelor vieții cu ajutorul metodelor moderne ale tehnologiei. Mitchel propune un model fără intermediar chimic încercînd să explice astfel cheia cuplajului. El observă de fapt că: cuplajele energetice au loc în structurile membranale în compartimente închise deci care permit încărcarea unui „condensator" cu ioni H^+. Pentru aceasta membrana mitochondrială trebuie să fie slab permeabilă pentru ionii H^+. Reacțiile de hidroliză și cele de hidrodeshidratare s-ar putea scrie prin intervenția unui proton, astfel:

$$ATP + H_2O \rightleftharpoons ADP + Pi$$

$$ATP + H + OH \rightleftharpoons ADP + Pi$$

iar în reacțiile de oxidoreducere, unde intervine hidrogenul sau un electron, se explicitează rolul protonului:

$$H^+ + e^- = — H = 1/2H_2$$

Dacă aceste reacții au loc la nivelul unei membrane este logic să credem că protonul substrat (sau protonul

produs) nu provine (sau nu se eliberează) dintr-o parte sau alta a reacției, ci pe măsură ce reacția de producere a energiei întărește încărcarea „pilei" condensatorului și pe măsură ce reacțiile utilizatoare a energiei o descarcă. Se pare că enzimele oxidoreducătoare acționează în acest sens simetric și antagonist.

Aceasta l-a condus pe Mitchel la propunerea unei scheme de aranjare a lanțului respirator sub forma unei bucle, subliniind că în aceeași membrană se găsește inclusă o ATP-ază capabilă să utilizeze gradientul de protoni primari reglînd cationi H^+ și cotransportului anionilor H prin anumite „canale de fugă".

Forța protonmotrice asigură un bilanț termodinamic satisfăcător pentru desfășurarea reacțiilor.

În reacții intervin diferiți decuplanți (în general acizi slabi la *p*H fiziologici există în parte sub formă ionizată) în parte sub formă „protonică" cu sarcini electrice delocalizate ce permit trecerea moleculei prin stratul hidrofob al membranei.

Un astfel de decuplant este carbonilcianureea sau clorofenilhidrazona sau 2—4 dinitrofenil sau triclorsalicilanilida, iar conductori de protoni sînt: tetrafenilborul (TPB), cationii liposolubili penetranți, monactină, valinomicină. Topologia enzimelor respiratorii, fiind etajată asimetric în grosimea membranei, contribuie de asemenea la inversarea gradientului de protoni.

Teoria chimioosmotică a lui Mitchel are meritul de a aduce unele clarificări în sistemul de cuplaj energetic.

În afara teoriei chimice clasice și a ideei chimioosmotice prezentate mai sus, trebuie să amintim existența unei a treia teorii aceea a energiei conformaționale.

S-a observat la nivelul citocromului *b* nu numai un spectru caracteristic stadiului oxidat sau redus, dar și un aspect reprezentînd diferența între forma redusă energizată și cea neenergizată. Diferența spectrală semnifică o diferență de structură la conformație. O modificare a conformației moleculare sub efectul unui factor înseamnă eliberarea energiei potențiale, conținută sub tensiune, în structura primară, iar modificarea distribuirii sarcinilor atomice modifică și replierea lanțurilor peptidice și creează interacțiuni.

Molecula de ATP-ază, fixată pe porțiunea interioară a membranei mitocondriale interne, conferă un ansamblu

de proprietăți diferențiate reacțiilor sale locale, care în final modifică conformațional moleculele și structurile din vecinătate.

Greutatea sa moleculară de 340—400 000 daltoni se împarte între cel puțin cinci lanțuri peptidice diferite, trei între 35 000 și 65 000 daltoni și două între 7 000 și 12 000 daltoni.

Se poate admite că o astfel de hidrodeshidratază conduce ionii de apă H^+ și OH^- deoparte și de alta a membranei în care este implantată enzima, în mod orientat, canalizînd mișcarea protonilor și dinamica „pilei protonice" care are și alte funcțiuni decît sinteza de ATP. ATP-azele originare ale mitocondriilor de mamifere, de levuri din membranele bacteriene, aerobe sau fotosintetizante sau din cloroplaștii plantelor verzi, au o greutate moleculară și o compoziție peptidică sensibil apropiată, în vederea sintetizării optimale a ATP.

Forța protonmotrice realizată cu ajutorul uneia din cele două pompe de protoni primari, lanțul respirator și ATP-aza, provine din pompa chimioosmotică transformînd energia de legătură chimică în gradient electrochimic pe care-l putem numi energie osmotică. Fluxul de protoni din afară înăuntru se cuplează cu un flux de cationi ce ies și un flux de anioni ce intră, creîndu-se astfel un sistem de transport electric neutru în care energia potențială a gradientului de *p*H, poate fi utilizat pentru cotransportul ionilor H^+. Sînt folosiți astfel atît gradientul de *p*H cît și potențialul transmembranal. Se pare că pe acest principiu funcționează la mitocondrii sistemul de transport al fosfaților, glutamaților, oxaacetaților, succinatmalaților etc.

La microorganisme, la care sistemul respirator și fosforilarea oxidativă își are sediul în membrana plasmică, care este și suportul sistemului de transport, problemele cuplajului prezintă o mare importanță, trebuind să răspundă atît nevoilor nutritive intense, cît și creșterii rapide. Ipoteza unor acceptori de electroni în afara oxigenului poate justifica creșterea anaerobă și a fost verificată în două cazuri (glicero-fosfatdihidrogenaza poate fi cuplată la fumarat reductază iar formichidrogenilaza poate fi cuplată la nitratreductază).

Izolarea unor mutante ale bacteriei *Escherichia coli* deficiente în ATP-ază (ATP-sintetaza) a demonstrat că

aceste mutante nu pot creşte pe substrate aerobe (succinat D-lactat) cu toată capacitatea lor de a respira pe aceste substanţe, singura cale de sinteză a ATP-ului fiind fosforilarea oxidativă. Ele cresc foarte bine pe substrate fermentabile îndeosebi pe glucoză.

Se pune problema dacă există o forţă protonmotrice la această bacterie. Se ştie că *p*H intracelular în stare fiziologică aerobă la *coli* este mai alcalin decît mediul. Diferenţa de aproximativ 0,7 unităţi *p*H este reajustată imediat după variaţia *p*H extern, ceea ce demonstrează că există variaţii ce pot provoca un flux de proton tranzitor.

Se consideră de asemenea existenţa unui potenţial negativ în interiorul membranei bacteriei.

Distribuţia anionilor şi cationilor penetranţi se face după ecuaţia lui Nernst:

$$\Delta\psi = \frac{RT}{nF} \ln \frac{C^{+}int}{C^{+}ext} = \frac{RT}{nF} \ln \frac{A^{-}ext}{A^{-}int}.$$

Orientarea cîmpului favorizează acumularea cationilor. Cationii lipofili DDA (dimetil dibenzil amonium) şi TPMP (trifenil metil fosforum) folosiţi în măsurătorile potenţialului de membrană demonstrează sarcini negative pe faţa citoplasmică a membranelor bacteriene. Cercetările întreprinse în această direcţie conduc la consideraţii termodinamice. Dacă considerăm valoarea de 240 mV ca forţă protonmotrice totală necesară la sinteza de ATP, după teoria lui Mitchel, pentru stabilirea gradienţilor substratelor neutre se ajunge la un raport de concentrare de ordinul 10^3, potenţial suficient pentru prelucrarea tuturor zaharurilor cu excepţia galactozei.

Transporturi de protoni (grupări moleculare ce se pot continua sau disocia cu un proton) sînt în general funcţii acide şi bazice din care se găsesc uşor cel puţin una pe moleculă de proteină:

$$-COO^{-} + H^{+} \rightleftharpoons COOH$$
$$-NH_2 + H^{+} \rightleftharpoons -NH_3^{+}$$

Raportul afinităţilor între transportul protonar şi cel neprotonar trebuie să fie cel puţin egal cu raportul maxim de concentraţie al substratului de o parte şi de alta al membranei şi valoric cel puţin de ordinul 10^4.

Pentru aceasta interacţiunea proton substrat trebuie să fie reciprocă şi afinitatea aparentă a sistemului pentru

substratul său trebuie să fie *p*H-dependentă în zona fiziologic utilă, schimbîndu-se cu un factor 10 pentru fiecare unitate de *p*H.

În concluzie, se pare că cuplajul potențialului electrochimic este cel al ionului H^+ în condițiile unei conservări a energiei existentă sub o formă relativ difuză (o parte sub formă de legături covalente, o parte sub formă de potențial electrochimic și o parte sub formă de modificări configurationale).

La un anumit moment aceste forme convergînd la sinteza ATP-ului pot, prin deshidratare, cu prețul energiei unui ion H^+ ce permite captarea apei eliberate, să preceadă o a doua etapă, adică liberarea de ATP.

Se pare că difuzibilitatea energiei în lungul rețelei semioordonate a membranei demonstrează evident rolul deosebit al acesteia în celula vie.

Să ne oprim acum, pe scurt, asupra cîtorva considerente asupra eredității și a unor modificări pe care aceasta le suferă în prezența radiațiilor. Pentru început, să ne reamintim cîteva reguli care guvernează modalitățile de transmitere ereditară și anume ereditatea autosomică, cea legată de sex și ereditatea poligenică.

Ereditatea *autosomală* este legată de genele aflate pe cromozomii celulelor somatice ea putînd fi dominantă sau recesivă. Gena dominantă provine de la un singur ascendent direct, tatăl sau mama, purtător al unei gene heterozigote. Ea este transmisă la 50% din descendenți, în timp ce cealaltă jumătate va fi respectată ca și proprii săi descendenți. Gena recesivă provine de la părinți aparent sănătoși, dar la care ambii heterozigoți sînt purtători ai modificării ereditare sau, uneori, provine de la un homozigot afectat și de la un heterozigot. În acest caz, la descendenți vom găsi 25% homozigoți tarați (clinic), patologic, 25% heterozigoți normali și 50% heterozigoți recesivi ca și părinții lor. O asemenea situație, în care doi heterozigoți purtători ai genei, aparent sănătoși, pot evidenția gena, se observă în căsătoriile consanguine.

Ereditatea *legată de sex* privește genele de pe cromozomii sexuali (*X* și *Y*).

Dacă gena anormală este situată pe segmentul omolog al unui cromozom *X* sau *Y*, transmisia se face după regula eredității autozomale. Dacă însă gena anormală este situată pe porțiunea cromozomului *X*, fără omolog pe

cromozomul Y, transmiterea se face întotdeauna recesiv. Femeia a cărei genă patologică este recesivă, față de aceea normală corespunzătoare, se comportă ca purtătoare a acestei gene fără a fi niciodată bolnavă.

La bărbat, din contră, gena anormală se exprimă întotdeauna ca genă dominantă și purtătorul este întotdeauna bolnav.

Perpetuarea tarei se face, astfel, în trei moduri:

— căsătoria unei femei purtătoare cu un bărbat sănătos, dă la urmașii de sex feminin 50% purtători iar la băieți 50% bolnavi și 50% sănătoși;

— căsătoria unei femei sănătoase cu un bărbat afectat, conduce la 100% fete purtătoare și 100% băieți sănătoși;

— căsătoria unei femei purtătoare cu un bărbat afectat, de obicei rară, întîlnită în cupluri consanguine, poate da naștere la 25% fete tarate, 25% fete purtătoare, 25% băieți sănătoși și 25% băieți afectați.

Ereditatea *poligenică* este legată de intervenția asociată a mai multor gene diferite și este prezentă în numeroase boli în care caracterul ereditar este puțin evident.

Rolul mediului exterior este deosebit, iar cunoașterea efectelor sale este necesară pentru a releva aceste afecțiuni.

În afara afecțiunilor privind genele, alterările fizice ale cromozomilor, așa-numitele aberații cromozomiale, au fost descrise și incriminate în apariția a numeroase boli. Orice mitoză riscă să fie afectată începînd cu embriogeneza sau în cursul unor reparații tisulare, de o anormală repartizare a cromozomilor la celulele descendente. Consecințele sînt în general localizate la subiectul afectat și nu sînt transmisibile.

În cazul în care însă sînt afectate gonadele, în special unul din gameți în momentul meiozei, pot apărea consecințe grave pentru descendenți. Fecundația unui asemenea gamet poate realiza un ou anormal prezentînd asimetrii ale aportului patern și matern. Această circumstanță este de obicei excepțională și privește în special radiogenetica.

Aberațiile cromozomiale întîlnite sînt clasificate drept anomalii de număr al cromozomilor și anomalii structurale, cele numerice rezultînd dintr-un defect de disjuncție în timpul meiozei și putînd fi întîlnite ca trisomii în cazul excesului unui cromozom (trei în loc de

doi) sau monosomii în cazul lipsei unui cromozom. În cazul autosomilor, monosomia este de obicei letală, dar trisomiile sînt compatibile cu dezvoltarea oului putînd realiza sindroame polimalformative bine individualizate. La cromozomii de sex anomaliile numerice dau entități clinice bine conturate.

Dacă accidentul intervine pe oul deja fecundat, neafectînd totalitatea populației celulare, apar *mozaicurile celulare* constituite din grupuri de celule normale și patologice, traduse prin apariția unor sindroame atenuate.

Anomaliile structurale sînt evidențiate după rupturi cromozomiale urmate de reparații, de suduri anormale și materializate fie prin *translocații*, prin fixarea unui fragment de cromozom pe un altul neomolog, sau ca *deleții*, prin pierderea unui fragment cromosomial.

Imensul număr de cercetări efectuate în ultimii 30 de ani, în multe țări ale lumii, au adus contribuții esențiale în cunoașterea acestor tulburări.

După cum am văzut în datele amintite anterior, o mare parte din modificările genetice, genice sau cromozomiale, pot fi net puse în evidență prin modelele experimentale clare. Dar există o serie de afectări ereditare, ca de pildă cele de profil poligenic, în care intervin numeroși factori din mediu, conferind un caracter aleator observațiilor experimentale.

Dintre factorii de mediu cei mai bine studiați în ultimele decenii, radiațiile ionizante și neionizante au conturat, prin complexitatea datelor asupra efectelor lor, un domeniu vast de cercetare numit *radiogenetică*. De la celebra aserțiune „viața s-a născut și se desfășoară într-o baie de radiații" și pînă la implicațiile în patologia actuală a cîmpurilor de iradiere, mii de cercetători, biologi și nebiologi, au animat discuții deosebit de interesante asupra acestei probleme.

În aria dezvoltării științifice din ultimul deceniu, un rol deosebit de important a revenit radiogeneticii, îndeosebi descifrării mecanismelor de dirijare a modificărilor ereditare, dorite, folosind radiațiile.

Modificările biologice produse de energia radiantă se datoresc cuantelor de energie, care, străbătînd materia, cedează parțial sau total energia proprie atomilor pe care îi întîlnesc, rupînd molecule, formînd ioni și radicali liberi activi etc. Acest mecanism este valabil și la nivel ge-

netic unde radiația poate produce modificări de cele mai diferite forme.

Unele lucrări de radiobiologie au demonstrat că particulele ionizante în traiectoria lor prin celulele vii, produc numeroase ionizări, care, în final, pot rupe diferitele legături chimice moleculare în organitele din nucleu și citoplasmă și modifică capacitatea funcțională normală și cea de autoreproducere. Pentru evoluția anterioară a celulei devine fatală în special afectarea acelor structuri moleculare care sînt reprezentate în număr mic, într-un singur exemplar sau o pereche pe celulă. Ne referim la cromozomi și la secvența nucleotizilor în triplete genice. Firește că mutațiile genice, și în general aberațiile cromozomiale, sînt în funcție de felul și cantitatea energiei radiante incriminate.

Este știut că gena este o moleculă de dezoxiribonucleoproteină, care tinde să-și păstreze o mare stabilitate a structurii. La scară moleculă gena poate fi reprezentată ca avînd o structură ordonată ca aceea a unui cristal, care nu are însă nici ax, nici plan de simetrie, nici centru. Asemănarea cu un asemenea cristal aperiodic este întărită și de observarea unei discontinuități a energiei caracterizată printr-o tranziție bruscă prin salt a unei configurații cromozomice într-o altă configurație pe același cromozom. Putem considera o similitudine dintre modelul sistemului atomic a lui Bohr și molecula ereditară și prin aceea că modificările nivelelor energetice pot avea explicații comune mecanismelor lor. Pentru ca un electron să treacă de pe nivelul său pe un nivel mai ridicat îi este necesară o energie din afară corespunzînd diferenței celor două nivele. La trecerea pe un nivel inferior diferența de energie pierdută este disipată sub formă de iradiere.

Stabilitatea moleculelor ereditare pare să fie, prin comparație, datorită acestei diferențe de nivel de energie ce există în cantități bine definite și în interiorul cărora nici o mutație nu este posibilă. Wigner și Polanyi subliniază importanța temperaturii ca una din cauzele stabilității moleculelor. Ei demonstrează că timpul necesar trecerii de la un nivel inferior la unul superior este în funcție de energia caracteristică agitației termice și variază rapid în funcție de cele mai mici modificări ale raportului lor. Delbruch exemplifică raportul $\frac{W}{KT}$ arătînd că atunci

cînd temperatura este egală de 30 ori indicele *KT* timpul de așteptare este de 1/10 s. Dar acest timp crește la 16 luni dacă *W* este egal cu 50 *KT* și la 3 000 ani dacă raportul devine de 60 ori mai mare. Această mare sensibilitate la variațiile de temperatură a condus la crearea unor modele matematice, folosind funcții exponențiale ale relațiilor de temperatură/energie găsind constante cu semnificație fizică care corespund perioadelor de vibrații proprii în interiorul sistemelor studiate. Schrödinger crede că o asemenea variație fortuită a energiei vibratoare poate face posibilă mutarea unei gene nu din cromozom, dar de pe o poziție pe alta în același cromozom, la fel ca într-o moleculă unde un același atom poate lua poziții diferite fără a schimba compoziția moleculei, dar modificînd proprietățile ei. Este posibilă astfel o tranziție izomerică în molecula ereditară care să modifice caracterele fără a-i schimba compoziția.

Mutațiile provocate prin aportul de energie calorică, provenite ca efect secundar al acțiunii radiațiilor, pot explica, prin acest mecanism, multe efecte mai puțin cunoscute în procesele de evoluție genetică.

Substanța cromatică este de asemenea sensibilă la toate radiațiile penetrante, deci și la radiațiile cosmice, a căror acțiune deosebit de slabă poate fi controlată experimental, dar nu împiedică supoziția că într-o perioadă de timp suficient de lungă ar produce un șoc capabil să perturbe genele și chiar să modifice specia.

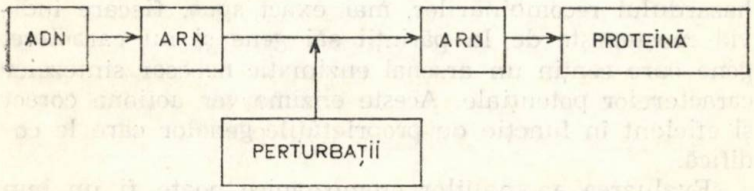


Fig. 28
Transmiterea informației ereditare

În afara efectelor directe asupra moleculelor de ADN, numeroase cercetări subliniază modificările induse de radiațiile ionizante prin efectele indirecte ale radicalilor liberi reactivi. În acest caz, o parte din energia particulelor este absorbită de moleculele învecinate care sînt activate

și reacționează cu ADN-ul ca intermediare. Se pare că raza de acțiune a efectelor indirecte nu depășește 30 A. Cele două mecanisme contribuie împreună la modificările induse de radiații. Studii distinctive ale diferitelor reacții care conduc la modificări chimice ale ADN-ului sînt încă destul de greu de întreprins. S-a calculat totuși că randamentul mediu al distrugerii bazelor din structura ADN-ului este dat de energia radiantă a 100 eV pentru o bază, în efectul direct și ceva mai mult în efectul indirect.

Distrugerea bazelor antrenează o inactivare biologică, dar aceasta este extrem de variabilă, în funcție de numărul și modul de ruptură a moleculelor. În funcție de timpul de acțiune și de caracteristica radiației pot apărea rupturi complete, dar de cele mai multe ori se produc evenimente mai puțin grave, cum ar fi inducerea unor interschimburi.

Rupturile cromozomice nu pot fi produse decît de un anumit număr de ionizări, în special datorate radiațiilor alfa, în timp ce electronii rapizi, traversînd masa cromozomului, vor provoca leziuni parțiale, fiind greu de admis impactul pe același cromozom al mai multor ioni succesivi. Reiese în mod evident că, în urma acțiunii factorului radiant, cea care suferă mai mult este gena.

Trebuie să remarcăm de asemenea că în cadrul reproducerii sexuale fiecare individ nu transmite în principal descendenților săi nici fenotipul și nici genotipul său, ci o anumită parte a materialului său genetic, parte supusă hazardului recombinărilor, mai exact spus, fiecare individ moștenește de la părinții săi gene și nu caractere, gene care conțin un arsenal enzimatic necesar sintezelor caracterelor potențiale. Aceste enzime vor acționa corect și eficient în funcție de proprietățile genelor care le codifică.

Evaluarea anomaliilor cromozomice poate fi un bun indicator al perturbărilor radioinduse într-o celulă, deoarece cromozomii purtători ai informației genetice furnizează, prin lezarea lor, o reprezentare sensibilă a alterărilor cauzate de iradiere. Studii ale anomaliilor cromozomice radioinduse la animale au arătat existența unei relații riguroase între frecvența diferitelor tipuri de aberații cromozomiale și doza absorbită, între frecvența anomaliilor observate și supraviețuirea celulară.

De asemenea aspectul morfologic al cromozomilor se pretează la o bună detecție a leziunilor existente la nivelul lor, mai ales în anumite stadii bine determinate ale ciclului mitotic, indiferent de țesutul din care face parte celula, la indivizi cu același sex și din aceeași specie.

Este cert că iradierea provoacă leziuni la nivelul cromozomilor, unele cu caracter ireversibil. Cea mai mare parte dintre leziunile primare vor suferi refaceri, remanieri, dar numeroase leziuni se vor stabiliza sub forme definitive. Frecvența anomaliilor formate depinde nu numai de doza absorbită de celulă, dar și de energia radiației, iar numărul de remanieri diferă în funcție de debitul dozei și distribuția spațială a energiei sale (de pildă, o radiație de 1KeV nu posedă o energie suficientă pentru a produce anomalii chiar la o doză de 1 000 razi).

În ceea ce privește anomaliile de structură, modificările vizibile în cariotip cu numeroase fragmente acentrice, inversiunile paracentrice, cromozomii inelari sau dicentrici sînt indicatori fideli ai modificărilor radioinduse. În cazul unor injurii radiante prelungite se întîlnesc remanieri între diferiți cromozomi, numeroși dicentrici și translocări, dar nu toate aceste anomalii structurale vor fi transmise celulelor fiice; observațiile arată că un dicentric din doi are șansa de a fi transmis celulei fiice. De asemenea, urmărind planul de clivaj al centromerului său un cromozom inelar va fi transmis generației următoare sau va avea o punte între cele două celule fiice.

Aceste observații au permis clasificarea anomaliilor în două grupe: anomalii instabile formate de cromozomii inelari și dicentrici și anomalii stabile formate de cromozomi monocentrici anormali, deleții, translocări, inversiuni.

Cromozomii monocentrici anormali pot fi decelați cu greutate numai în cazul unor nete modificări morfologice, posibilitatea detectării unor asemenea anomalii depinzînd de calitatea testării, de experiența și minuțiozitatea observatorului. Din contră, ring-cromozomii, dicentricii și fragmentele prezentînd aspecte morfologice caracteristice pot fi detectați cu precizie, uneori chiar fără alcătuirea unui cariotip.

În general, în cursul primei mitoze după iradiere, anomaliile stabile constituie o bună reprezentare a ansamblului anomaliilor existente. Fragmentele orientează asupra

rupturilor cromozomice fără remaniere, adică a deleţiilor reale decelabile sau nu, cu condiţia să nu le confundăm cu cele care acompaniază normal remanierile cromozomice, confuze, care pot apărea atunci cînd frecvenţa anomaliilor cromozomale pe celulă devine importantă. Probabilitatea formării unui cromozom inelar este egală cu cea a unei inversiuni, iar a unui cromozom dicentric cu formarea unei translocaţii. Se impune concluzia după care cromozomii inelari şi dicentrici reprezintă jumătatea remanierilor cromozomice real existente şi devin astfel un factor demn de luat în seamă în stabilirea unei dozimetrii biologice în cazul iradierilor medicale.

Frecvenţa anomaliei de structură este foarte mică la subiecţii normali şi anume unul, două fragmente pentru 500 de celule şi un dicentric pentru 8 000 de celule.

Deşi accidentele de iradiere sînt relativ rare, există totuşi iradieri globale în care dozimetria fizică este destul de aproximativă. În acest caz, se poate etalona un dozimetru plecînd de la iradierea *in vitro* a limfocitelor umane, ştiind că pentru subiecţi normali frecvenţa anomaliilor cromozomice radioinduse *in vitro* este, practic, identică. Folosind metoda comparativă putem aprecia gradul leziunilor radioinduse. În prezent, în studiu, această metodă promite precizări de mare utilitate în aprecierea efectelor biologice ale radiaţiilor. Pentru a utiliza relaţia doză-efect, obţinută, după iradierea *in vitro*, în vederea estimării dozei primite în cursul unei iradieri globale, este important să se facă analiza cromozomică a prelevatelor sanguine în primele zile sau cel mai tîrziu în primele săptămîni după fiecare iradiere.

S-au studiat de asemenea procesele de regenerare, după doze fracţionate, în diferite faze ale ciclului celular prin măsurarea supravieţuirii unor colonii bacteriene şi celulare, dar datele nu pot fi extrapolate la om. Ele sînt utilizabile însă în microbiologie.

Unii autori înclină să conchidă că fenomenele de îmbătrînire tisulară s-ar datora în bună măsură acţiunii mutagene pe structurile somatice şi că un anumit procent din aceste modificări ar cădea sub responsabilitatea fondului de radiaţii şi mai ales a iradierilor medicale. Etiologia comună ar avea şi unele forme de neoplasme.

Deşi statisticile radiogenetice privind loturi de persoane iradiate, chiar şi cele referitoare la urmările bom-

bardamentelor atomice din Japonia, nu sînt luate în considerare de mulți autori, pericolul mutagen-somatic și gonadal este cert și confirmă starea de alertă pe care o serie de organisme științifice și medico-sanitare din lume o semnalează în vederea luării unor măsuri eficace. Apar, inerent, noi preocupări și direcții de cercetare. Investigații științifice de radioecologie și radiobiologie sînt în plin avînt.

În radiobiologie, cuceririle metodologice și tehnice ale radiochimiei și ale biologiei moleculare, în general, contribuie la creșterea patrimoniului de date privind mecanismele și modul de acțiune a radiațiilor asupra structurilor celulare. Firește, modificările genetice au implicații în timp asupra genomului izolat și a organismelor ca un tot integrat și acest fapt nu poate lăsa indiferent cercetătorul în domeniul evoluției structurilor vii. Într-adevăr, mutațiile cu implicații imediate sau tardive contribuie în mod substanțial la orientarea cercetării medico-biologice, la rezolvarea unor probleme de patologie, la stabilirea unei noi profilaxii față de bolile civilizației actuale, dar mai ales viitoare.

Înmulțirea noxelor, în special a celor provenind de la factorii fizici legați direct sau indirect de progresul tehnic, cum ar fi de pildă creșterea nevoilor energetice și prin urmare a numărului de cauze poluante derivate din aceasta (energia atomică, produși chimici proveniți din ardere) conduc la alterări ale mediului natural de viață și obligă organismele la o continuă adaptare.

Dacă ne referim numai la energia radiantă provenită din sursele nucleare, energie despre care se estimează că va crește de peste zece ori în următorii 30 de ani, putem avea o idee orientativă asupra creșterii simultane a numărului de persoane ce vor intra în contact cu această sursă de iradiere, fie direct, în procesele tehnologice, fie indirect, prin creșterea numărului de obiective nucleare etc. pe unitatea de suprafață. În acest al doilea caz sînt semnificative unele date publicate recent, în care se menționează că doza de radiații medie la care a fost expus în 1970 un locuitor din S.U.A. întrece doza minimă nepericuloasă cu 170 mrem. Potrivit autorităților americane însărcinate cu protecția mediului ambiant, doza cumulată, care se calculează împărțind totalitatea radiațiilor produse la numărul de locuitori, a fost, în 1970, în S.U.A., de 211

mrem. Pentru anul 2000 se prevede că doza cumulată se va ridica la 227 mrem. Depășirea dozei de radiații permise se datorează, după părerea autorităților americane, și folosirii în creștere a radiațiilor în cadrul tratamentelor și cercetărilor medicale. Academia americană de științe își manifestă îngrijorarea privind posibilitatea înmulțirii cazurilor de cancer și de alte boli, care pot fi cauzate de radiații, ca urmare a creșterii utilizării acestora. Iată deci că apare pericolul potențial al unei boli de iradiere latentă, deosebit ca mecanism și formă de manifestare de formele clinice ale bolii actinice acute sau cronice.

Numeroși autori au încercat să facă o distincție între acțiunea biologică a radiațiilor la scara dozelor mici, mijlocii și mari, referindu-se la posibilitățile radioprotectoare și la cele de reparație și refacere a țesuturilor vii în cazul dozelor mici. De asemenea mulți geneticieni consideră dozele mici de iradiere ca nesemnificative pentru inducerea unor mutații cu pondere patologică.

Pe de altă parte, cercetători în domeniul biologiei acreditează din ce în ce mai mult ideea că multitudinea polimorfismelor, în decursul evoluției, sînt rezultatul unor procese radiogenetice întîmplătoare. Este un fapt cert, bine stabilit, că sub acțiunea unor factori fizici, și în special a radiațiilor, în microstructurile vii se produc mutații, fenomene care în bună parte conduc la substituirea unor alele și deci a unor caractere ereditare. S-a considerat că la unele mamifere substituirea unei gene cere aproximativ 300 de generații, dar observațiile din ultimii ani au atestat că o înlocuire poate apărea în aceeași populație, o dată la doi ani. Dacă considerăm durata medie a unei generații de mamifere de 4 ani, constatăm posibilitatea existenței a două substituiri în cursul aceleiași generații. Menționăm că la nivelul structurilor aminoacizilor rata de substituire este de 10^{-9} pe an. Aceasta conduce la structurarea unor proteine fără valoare selectivă, la posibilitatea apariției unor mutații stabile și instabile la nivelul acizilor nucleici, la instaurarea unui dezechilibru metabolic și genetic și deci a unei norme de reacție la mediu, defavorabilă unității structurale a organismului iradiat.

Se știe de asemenea că rata de mutații la om este mai mare, mai ales la nivelul celulelor germinale mature, și că ea crește semnificativ după iradiere. Deși radiosensi-

bilitatea la nivel celular variază de la un tip celular la altul, se constată că radiorezistența, în cadrul unei specii, este aparentă față de implicațiile practice.

Atît în cazul acțiunii directe, cît și indirecte a radiațiilor, chiar dacă nu asistăm la modificări morfologice vizibile, se produc alterări la nivel subcelular, unele incompatibile cu dinamica fiziologică, iar altele mascate temporar de mijloacele de apărare locale și generale. Dezechilibrul inițial asupra entropiei celulare și tisulare creează premizele unor evoluții „pseudofiziologice" atunci cînd echilibrul nu este complet rupt. Cu toate că există o sensibilitate diferită din punct de vedere radiogenetic, la diferite specii de viețuitoare și chiar în interiorul aceleiași sușe există, fără îndoială, o sensibilitate prag, specifică fiecărei celule vii, cu un coeficient de variație, de asemenea, specific în funcție de anumite condiții. Rata naturală de mutații pare să fie limita inferioară a acestui prag, de la care acțiunea oricărui agent mutagen crește în mod artificial rata de mutații și scade raportul indicilor de supraviețuire în funcție de parametrii biologici specifici ai țesutului respectiv. Modificările noi apărute în materialul ereditar parțial sau în întregul genotip modifică caracteristicile structurale și funcționale, exteriorizîndu-se, în final, prin schimbarea fenotipului.

În fine, trebuie să menționăm că, în afara agentului radionociv, în practică întîlnim însumarea convergentă a unor condiții de mediu, cum ar fi noxele industriale, variațiile termice și altele, care contribuie la creșterea frecvenței de mutații spontane în mod firesc și care potențează creșterea radiomutațiilor.

Este neîndoielnic că efectele genetice radioinduse, chiar dacă nu sînt vizibile imediat, prezintă un grad de risc genetic pentru același organism, privind integritatea și longevitatea biologică și adaugă, în mod cert, o pondere reală la creșterea lanțului malformativ în filiația apropiată și îndepărtată.

Privind din punct de vedere epigenetic, adică a tendinței de superiorizare în evoluția organismelor vii și considerînd celulele fiice de-a lungul a sute și mii de generații în același organism și la urmași, modificările genomice capătă o importanță deosebită. În cazul iradierilor, ruperea inerției biologice a echilibrelor morfofuncționale și structurale conduc, în final, după aparenta liniștire a

exploziei radiogenetice, la o normă de reacție propice unor rearanjări de tip mutant în structurile cromatidiene, influențînd atît duplicarea acizilor nucleici cît și sinteza proteică. Această „reacție de urmă" genetică pregătește terenul unor noi modele de memorie ale ADN-ului și ARN-ului.

Se mărește astfel atît proporția mutațiilor incompatibile cu viața celulară, cît și a celor aparent compatibile, urmate firesc de modificări teratogene de tip somatic, dar mai ales cu puternice amprente biochimice.

Numărul nașterilor de malformați, în condițiile exploziei demografice, în condițiile creșterii populației globului, constituie o mare problemă a epocii noastre. Ea preocupă în egală măsură pe geneticieni, radiobiologi, pe sociologi și medici etc.

Pentru a cunoaște potențialul genetic normal sau modificat al întregii populații umane ar fi necesare efectuarea unor analize genetice a zeci de miliarde de cariotipuri sau mitoze, care ar însuma, în timp, în materiale și număr de specialiști, quantumuri greu de realizat.

În acest scop însă, bioinginerii au imaginat instalații care pot efectua asemenea examene, în timp util, și cu un randament deosebit. Astfel, dacă la o serie de microscoape optice, în locul ocularului se montează camere TV de luat vederi (imaginea din cîmpul microscopic apărînd și pe monitor), se poate, printr-un dispozitiv de recunoaștere a imaginilor și a formelor (a cromozomilor), să se facă o citire rapidă și o sortare a imaginilor normale de cele care prezintă modificări. Cu ajutorul unor interfețe, se poate conecta această instalație la un calculator, care, pe baza unor programe adecvate, poate culege datele, le poate interpreta și reține în memorie. Dispozitivul poate prelucra sute de preparate citogenetice pe oră.

BIORITMURILE ÎN UNIVERSUL BIOLOGIC

Printre importantele probleme cu largi implicații în biotehnologie, bioritmologia ocupă un loc de seamă.

Observațiile asupra vieții ne arată că la orice organism viu, de la organismele unicelulare și pînă la om, orice mișcare se dezvoltă ritmic. Chiar și unele procese liniare de acumulare, cum ar fi de pildă creșterea organismelor, sînt conectate fenomenelor ritmice. Mitozele din celulele vegetale și animale sînt supuse unor ritmuri cu perioade variabile dar net exprimate. Putem afirma că activitatea ritmică reprezintă modalitatea fundamentală a mișcării materiei vii; bioritmul ilustrează dezvoltarea în timp al oricărui proces sau fenomen biologic, posibilitatea sa de a se reproduce cu anumite caracteristici calitative și cantitative în intervale aproximativ egale. Termenul de bioritm include și noțiunea de ciclu biologic.

Capacitatea cronometrică a organismelor vii a suscitat un viu interes din cele mai vechi timpuri, omul primitiv observînd periodicitatea creșterii și germinării plantelor în diferite ritmuri, pe sezoane, reproducerea și migrarea animalelor și păsărilor după o anumită periodicitate etc. Mai tîrziu omul a observat caracterul ritmic al unor procese fiziologice proprii; bătăile inimii, succesiunea somn/veghe, funcția menstruală etc.

Astfel, bioritmologia a devenit, pas cu pas, o preocupare științifică consacrată capacității materiei vii de a măsura timpul prin mijloace proprii, intrinsece, incluse în structurile sale morfofuncționale.

Cele două mari mecanisme de control ale vieții, complexul genetic specific tuturor organismelor și complexul neuroendocrin specific animalelor evoluate, îndeosebi omului, sînt și ele conectate bioritmurilor. În evoluția

naturală, ritmurile biologice corespund confruntării sistemelor cronometrice — intern și extern — cu condițiile mediului și constituie fenomenul fundamental al adaptării organismelor vii la parametrii generali, universali.

Tot ce se petrece în Univers are o desfășurare ritmică, după o mecanică cerească, de mult timp, studiată. Astrele se deplasează ritmic, în cicluri de evoluție precise. Emanațiile de gaze ale corpurilor cerești, pulsarii sînt ritmice. Datorită mecanicii astrale pe Pămînt se succed ritmic vara și iarna, ziua și noaptea. Oamenii și viețuitoarele Terrei sînt continuu expuși forțelor cosmice. Influențele acestor forțe acționează după modele ciclice la care formele vii „au învățat" să reacționeze, aceste oscilații fiind puse în evidență și înregistrate de numeroase cercetări.

Un bioritm mai poate fi definit ca o suită de variații fiziologice, statistic semnificative, ce desemnează în funcție de timp o serie recurentă tradusă prin oscilații reproductibile și care se manifestă după una sau mai multe frecvențe. Bioritmurile sînt înscrise în patrimoniul ereditar al speciei. Factorii extrinseci nu le pot crea, dar le pot influența, sincronizîndu-le, restrîngînd sau ajustînd perioada de oscilație, în funcție de o serie de factori, în primul rînd în funcție de sensibilitatea organismului la factorul extrinsec.

Serii temporale de măsurători pentru o variație fiziologică dată pot fi tratate cu ajutorul calculatorului electronic, după programe speciale, pentru a quantifica anumiți parametri ce servesc la caracterizarea fenomenelor bioperiodice. Acești parametri sînt:

— perioada care este egală cu durata unui ciclu complet al variației ritmice;

— acrofaza care este localizarea vîrfului funcțiunii, utilizată pentru aproximarea ritmului (De pildă, localizarea vîrfului în scara de 24 ore pentru un ritm a cărui perioadă este de 24 ore);

— amplitudinea *A* care este egală cu jumătatea variabilității totale pentru perioada considerată;

— factorul *M* sau media ajustată a ritmului.

Fiecare din acești parametri sînt dați sub formă de medie cu limite de variație.

Referindu-ne la perioadă sau frecvență un ritm biologic poate face obiectul unei analize spectrale care poate releva componente statistic semnificative în mai multe

domenii: se disting ritmuri biologice de înaltă frecvență sau *ultradiene* (aproximativ 12 ore), ritmuri de frecvență medie (12 ore... 2,5 zile) și ritmuri de joasă frecvență sau *infradiene* (aproximativ 2,5 zile).

Ritmurile circadiene există și la cele mai simple organisme, fără hormoni sau sistem nervos specializat, ritmuri datorită cărora aceste viețuitoare reacționează după scheme complicate la cei mai stabili stimuli din mediu. Între anumite limite, ritmurile circadiene pot fi influențate prin variația ciclică a anumitor factori din mediu. De exemplu: alternanța lumină/întuneric, cald/rece, zgomot/liniște. Acești factori sînt numiți sincronizatori sau agenți de alterare. Sincronizatorii nu creează ritmuri și nu sînt, în general, necesari la menținerea lor.

Organismele vii au o sensibilitate deosebită a timpului. Aceasta implică atît capacitatea de a măsura timpul cît și posibilitatea de orientare în timpul local sau universal. Ceasurile biologice sînt de maximă importanță pentru organisme, care trebuie să cunoască timpul zilei, al anului etc. pentru a reacționa eficient la stimulii din mediu. Este sigur în prezent, că ritmurile circadiene au un dublu determinism: exogen (care ia naștere în urma unor cauze din afara organismului) și endogen (care se datorește unor cauze din interiorul organismului). Ceasurile endogene sînt corelate cu acumulări sau eliberări de produse metabolice sau endocrine realizate prin mecanisme de relaxare sau oscilații amortizate. („Ceasurile" pot fi oscilatori organici reali, situați într-o anumită zonă a organismului).

Încă nu se cunoaște dacă în organism există organe sau țesuturi specializate în măsurarea timpului, receptori speciali pentru timp. Sistemul nervos a fost sigur implicat în această măsurare, dar se constată că și plantele au un simț al timpului. Stimulii externi (lumina, temperatura) au o certă influență asupra ceasurilor biologice, însă există și perioade biologice pe care nu le putem corela cu nici o influență externă.

În general, un organism poate fi privit nu ca un orologiu unic, ci ca o colecție de ceasuri biologice ce interacționează și putem considera fiecare celulă ca un astfel de mecanism, iar organismele ca niște sisteme sincronizate și sincronizatoare. Teoria ceasurilor multiple încearcă să explice faptele observate și anume că mai multe ritmuri, de diferite perioade, pot coexista într-un singur individ

și de asemenea că diferiți agenți sincronizatori pot avea efecte diferite sau că aceștia pot interacționa între ele într-un mod complicat. Bioritmul reprezintă deci o funcție echivalentă homeostatică, dar cu mecanisme de producere diferite. Problema naturii ceasurilor biologice nu este complet elucidată. Natura biochimică a ceasurilor biologice a fost infirmată de experiment. Prin experiențe efectuate asupra animalelor poichiloterme (animale care au temperatura corpului variabilă după mediul înconjurător) s-a demonstrat că frecvențele circadiene sînt aproape neafectate de variația temperaturii ceea ce implică o impedanță accentuată față de acest factor. De asemenea, frecvența ritmurilor endogene este independentă față de influențele toxice asupra celulei. Este sigur că nu există încă o „tăiere" clară a frecvenței endogene, așa cum ne-am putea aștepta dacă ceasul ar fi biochimic. Ceasul biologic poate fi explicat printr-o teorie a difuziei (ceasul biologic fiind sistem de transport activ a unor substanțe sau factori „X" care vor fi transportați în funcție de variații cantitative sub sau peste pragul normal de considerație) în vederea restabilirii echilibrului pentru închiderea ciclului. Se poate ca metabolismul acizilor nucleici să fie implicat în măsurarea timpului. Ei sînt sensibili la radiații ionizante și ultraviolete ca și ritmurile biologice. Organismul uman dispune și de un număr de ritmuri care se referă la cele mai diferite funcții ale structurii sale biopsihice. Pînă în prezent au fost studiate și deci cunoscute științific numai un număr mic de bioritmuri umane cu toate că se poate demonstra existența unei multitudini de variații ciclice la om. Plecînd de la ideea că dacă există o variabilitate a disponibilităților fizice și psihice în diferite momente ale zilei se poate presupune că acest fapt va avea efecte specifice asupra randamentului muncii și în consecință se pot stabili perioadele cînd se obțin cele mai bune rezultate în activitate sau se pot preciza perioadele critice.

În urma experimentelor efectuate s-a arătat că în cadrul variației performanțelor se disting două vîrfuri, acestea fiind considerate perioadele cînd performanțele ating cele două mari valori. Primul vîrf este întîlnit în prima jumătate a zilei în jurul orelor 10 iar cel de al doilea după-amiaza, în jurul orelor 18. În general, performanțele maxime, de ordin neuropsihic, sînt întîlnite dimi-

neața, iar cele de ordin fizic după-amiaza. (În anumite situații subiectul este expus unor schimbări de fază a sincronizatorilor socio-ecologici).

Studiul acrofazei circadiene a 17 variabile fiziologice a arătat că: desincronizarea cea mai importantă în raport cu ziua de lucru normală corespunde muncii de noapte; ajustarea acrofazei la noul orar diferă sensibil de la o variabilă la alta, pentru aceeași variabilă; totodată această ajustare este foarte rapidă și completă atît pentru fiecare subiect ca și pentru fiecare grup ceea ce pune problema unui factor genetic, precum și a efectului vîrstei.

Așa cum am văzut mai sus, mișcarea biologică include mișcarea ritmică ca o fluctuație periodică a valorilor sistemelor biologice între două limite. Aceste fluctuații sînt consecința unor caracteristici bioritmice: universalitatea ritmului, conservarea energiei (caracterul antientropic al viețuitoarelor) și imposibilitatea mișcării unidirecționale.

Așa cum am văzut, existența materiei vii este permanent legată de interacțiunile multilaterale dintre organismele vii și mediul extern, mediu care pulsează cu o abundență de oscilații solare, siderale, mareice, sezonale, diurne etc. Este bine cunoscut că atît dezvoltarea individuală a plantelor și animalelor (inclusiv omul) cît și evoluția și dinamica diferitelor specii sînt condiționate, în mod necesar, de o infinitate de procese de adaptare, față de acțiunea celor mai diferiți factori ai mediului. Capacitatea organismului de a urma ritmurile universale, de a oscila, a sporit potențialul de supraviețuire a speciilor.

Bioritmicitatea, considerată din punct de vedere al relațiilor organism-mediu, are o dublă semnificație fiind rezultat și instrument al adaptării.

Orice acțiune necesită eliberare de energie în mod instantaneu și, evident, înlocuirea ei. Păstrarea energiei tinde să minimalizeze consumurile metabolice; ea se face prin sinteză. Sinteză însă înseamnă entropie negativă. Mișcarea temporală, unidirecțională nelimitată este imposibilă întrucît contravine principiului conservării energiei și al entropiei negative specifice sistemelor biologice. Fotosinteza reîntoarce energia în sistemele vii asigurînd combustibilul pentru noi transformări energetice. Organismele, ca sisteme vii, se caracterizează prin autocontrol, înțelegînd prin aceasta că în apropierea unor funcții limită intervin anumite mecanisme care le contrareglează.

Bioritmul ilustrează deci desfășurarea în timp a oricărui proces sau fenomen biologic care se repetă relativ, în însușirile sale cantitative și calitative, la intervale de timp relativ egale. Dată fiind multitudinea bioritmurilor, ca o reflectare a caracterului divers al lumii vii, clasificarea lor se poate face în diverse moduri aplicînd criterii foarte diferite: pe nivele de organizare, după regnuri, taxoni, clase, specii; după modul de desfășurare (individual sau de grup); după funcțiile vitale ce le caracterizează așazisele ritmuri elementare studiate în special de fiziologi. Mult mai importantă este clasificarea bioritmurilor după durata lor: microritmuri cu o frecvență de ordinul secundelor și al minutelor și macroritmuri cu durate mai mari legate din aproape în aproape de mișcările cosmice, respectiv ritmuri diurne (circadiene), lunare (selenare) multidiene, anuale (sezoniere), solare etc.

Bioritmurile, prin faptul că s-au fixat puternic în ereditate, de-a lungul perioadelor îndelungate de timp, sînt stabile și factorii externi nu fac decît să le amorseze, să le defalcheze, dar nu să le desființeze cu totul. Sînt constituite din variații regulate, repetate, observate în exteriorizarea oricărui fenomen organic a cărui origine este intrinsecă. Unele nu sînt în mod necesar sincronizate cu variațiile periodice ale mediului ambiant și pot fi considerate din acest motiv „ritmuri autonome". Toate organismele (plante, nevertebrate, vertebrate) adună, de asemenea, ritmuri endogene, fie că sînt ritmuri cu frecvență de ordinul secundelor sau al minutelor (ritmul vacuolelor pulsatile și al mișcărilor ciliare la organismele unicelulare, ritmul activității inimii, ritmul respirator etc.), fie că sînt macroritmuri cu durate de ore, zile (ritmul funcțiilor renale, al secreției gastrice etc.).

Unele bioritmuri endogene se află într-o corelație izbitoare cu elementele geofizice externe cum este ciclul solar sau lunar, alternanța zi-noapte. Relația nu este cauzală, căci bioritmul persistă în cazul dispariției evenimentelor externe. Asemenea ritmuri sînt presupuse în general a fi endogene cu adevărat, dar favorizate de natură prin selecție genetică evolutivă. De exemplu, bioritmul diurn persistă la orbi și la persoanele care locuiesc izolat în peșteri. Mai mult, bioritmul diurn nu este exact de 24 de ore fiind ceva mai mic sau mai mare și este denumit din această cauză ritm circadian (aproximativ o zi).

Ritmurile externe pot să determine durata, forma și nivelul răspunsului exogen și, ceea ce este mai important timpul procesului. În spațiul care ne înconjoară există elemente fizice care acționează ca sincronizatori; aceste elemente au funcție bioritmică directă sau indirectă. În spațiu, organismele vii suferă influența tuturor mișcărilor care se desfășoară aici. Studiul bioritmurilor poate aduce clarificări începînd cu problema seismelor și pînă la adaptabilitatea în mediul extraterestru. În literatura științifică există suficiente date care demonstrează influențele lunare, solare, planetare asupra vieții.

Intensitatea luminii, ritmul mareelor și modulațiile magnetice sînt, în esență, ciclice. Este dovedit rolul luminii solare în ciclul de reproducere al aricilor de mare și al crabilor în legătură cu fazele lunii. La grunion, un pește mic care trăiește aproape de coastele Californiei, ritmul selenar de reproducere, manifestat prin intermediul mareelor, joacă un rol important pentru supraviețuire și conservare. Din martie pînă în luna august, la lună plină, cînd mareele sînt cele mai puternice, grunionii se apropie de coastă, depun ouăle și le fecundează. Mareele din zilele următoare nu mai ajung la ouă care rămîn astfel în nisip 15 zile timp în care cresc larve mici. Următoarea maree puternică de la luna nouă sparge ouăle și poartă larvele în larg. Cauza fizică a influențelor lunare nu se reduce însă la intensitatea luminii și la maree. Experiențele lui Brown asupra deschiderii valvelor la stridie arată că este vorba de influențele magnetice și electromagnetice, provocate de trecerea lunii la meridianul locului. Aceasta ar putea explica și unele ritmuri lunare ale animalelor terestre și al oamenilor care s-ar afla izolați în peșteri.

Influența solară asupra bioritmurilor terestre este fie directă ca rezultat al activității sale ciclice, fie indirectă ca rezultat al interacțiunii solare cu alte corpuri cerești sau forțe galactice.

Din anul 1957, concepția despre radiațiile Soare-Pămînt a evoluat. Pămîntul este considerat ca fiind scufundat într-un curent de particule emise de Soare — vîntul solar sau de cîmpurile plasate în continuarea coroanei solare. Acest vînt interacționează cu cîmpul magnetic deformîndu-l. Activitatea solară are un caracter ciclic de 11 ani. Emisiile puternice solare afectează clima terestră, comu-

nicațiile radio, determină furtunile magnetice, aurorele polare, influențînd desfășurarea vieții la cele mai diferite nivele. La om, relațiile dintre fenomenele biologice și manifestările ciclice ale activității soarelui sînt mult mai bine analizate. Există numeroase statistici care descriu corelații certe între infarctul miocardic și activitatea solară. Corelația pozitivă există și între posibilitățile accidentelor de muncă, agitația bolnavilor mintali și activitatea solară. Caracteristicile sîngelui (sedimentare, tablou sanguin, indicele de floculare al serului) suferă influența evidentă a activității solare. Se poate presupune că omul este un „rezonator cosmic".

Pornind de la aceste date, se pune problema cunoașterii factorilor care acționează și a modului cum acționează pentru a perturba procesele fizico-chimice fundamentale și prin aceasta comportamentul organismelor vii.

Activitatea solară poate acționa direct prin emisia de radiații sau indirect prin modificări la nivelul atmosferei și a magnetismului terestru, sau mai poate acționa prin interacțiunea cu razele cosmice interplanetare. În esență, stimulii de importanță biologică deosebită sînt rezultatul acțiunii cîmpurilor magnetice perturbate de undele de frecvență joasă.

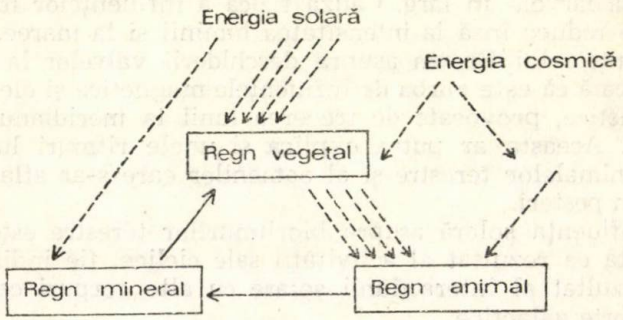


Fig. 29
Circulația materiei în biosferă

S-a stabilit că într-un cîmp magnetic, sîngele coagulează mai repede, proprietățile defensive ale leucocitelor se accentuează, sedimentarea elementelor figurate din sînge se încetinește, permeabilitatea celulei se schimbă, in-

tensitatea respirației coboară, activitatea sistemului nervos este evident influențată.

Experiențele efectuate asupra unor moluște și a unor specii de viermi demonstrează, de asemenea, modificările de comportament sub influența cîmpurilor magnetice artificiale. Multe cercetări moderne de biotehnologie și în special de bionică preiau asemenea modele experimentale în vederea obținerii unor rezultate cu caracter aplicativ.

Studiul bioritmurilor explică într-o lumină nouă problemele orarelor impuse oamenilor, de viața modernă, de activitățile de noapte, de zborurile longitudinale de lungă durată. Toți aceștia suferă efectul desincronizării. În timpul zborului longitudinal, desincronizarea se manifestă prin oboseală, iritație, eficiență redusă, perturbări ale ritmului somn-veghe. Testarea piloților, înainte și după un zbor între Europa și America, a arătat o scădere a eficienței, dar după 3—5 zile amplitudinea și faza au revenit la normal. Este vorba de o tulburare legată de ritmurile diurne cauzată de rotația Pămîntului.

Analiza ritmurilor fiziologice (a ceasurilor biologice), în interacțiune cu programele de muncă, evidențiază o modificare a ritmului excreției de adrenalină (turtirea maximelor) mai puternică în cazul lucrului de noapte prin rotație, față de schimbul de noapte permanent. Efectele bioritmurilor privind performanța minții, a capacității de rezolvare a unor probleme sînt în studiu, avînd în vedere importanța lor deosebită pentru desfășurarea activității psihice și a menținerii stări de sănătate. Corelațiile sînt complexe și interesante și constituie o problemă de larg interes în bioingineria medicală.

Un sector fundamental al biologiei cosmice este reprezentat tocmai de probleme legate de ritmurile materiei vii în corelație cu mediul, cu totul deosebit, din spațiu.

Biologia cosmică studiază viața în condiții în care reperele de timp, sincronizatorii obișnuiți ai orologiilor biologice, nu există. O chestiune importantă astăzi este cum ar acționa omul în fața mediilor nefamiliare din spațiu, în absența sincronizatorilor normali și introducerea unora noi. În funcție de orbitele zborurilor cosmice, zilele și nopțile se vor succeda rapid și putem presupune că astronauții vor parcurge drumuri în cursul cărora nu vor vedea deloc Soarele, sau cît timp îl vor vedea imaginea va fi cu totul diferită. Putem spune că ei se găsesc în stare de

asincronie pentru că nu pot să se lege de nici un ritm al Terrei. Proiectele existente prevăd ca astronauții să continue să trăiască conform orarului de pe pămînt, sau în cazul misiunilor mai lungi să li creeze condiții de adaptare a vieții cu solicitările impuse de zbor.

Studierea bioritmurilor în condițiile spațiului cosmic, în afara reperelor tradiționale, va permite analiza vieții atît în stare de asincronie cît și în stare desincronizată și va aduce noi date privind mecanismul și originea ritmurilor vieții precum și a modurilor de interacțiune a unor factori din spațiu și materia vie.

Ieșirea integrală și de lungă durată din tiparele cronologice ancestrale va pune într-o situație dificilă atît organismul uman, cît și organismele vegetale și animale care îl vor însoți. În mod sigur, printre condițiile ce vor premerge etapele de existență extraterestră de mai lungă durată se vor crea și posibilități de transfer, fapt care va oferi cunoașterii noi sensuri și abordări ale timpului universal absolut.

Bioingineria beneficiază de toate cercetările întreprinse în bioritmologie.

ECOLOGIA — DOMENIU DE VÎRF AL CERCETĂRII BIOTEHNOLOGICE

Termenul „ecologie", introdus în știință de naturalistul german Ernst Haeckel (1834—1919), semnifică știința studiului habitatului, a interacțiunii dintre organisme și mediul lor de viață. În cadrul său au fost definiți o serie de alți termeni ca de pildă: „biotopul" — spațiul delimitat răspunzînd nevoilor unei specii sau unui grup de specii, „nișa ecologică" cuprinzînd conceptul ideii de trai legat de un lanț alimentar ș.a.m.d.

Legat de succesiunea de timp și de caracterele fizice ale mediului s-au pus în evidență numeroase analogii comportamentale, delimitîndu-se unități ecologice de tip superior. Amintim de pildă „biomul" complexul ecologic care se formează în raport cu un anumit mediu ambiant (pădure, preerie, tundră, savană, deșert etc).

Astfel, ecologia a trecut de la faza descriptivă de început (observații și clasificare) la faza experimentală și cantitativă, multitudinea de date obținute necesitînd, în prezent, intervenția prelucrării lor de către calculator.

S-a conturat o ecologie dinamică, evolutivă, ce a pus în evidență legăturile genetice între diferite medii și rolul factorilor fizici responsabili de caracterizarea acestor medii. S-a făcut apel la metodele statistice și la formularea matematică a observațiilor din ce în ce mai numeroase, realizîndu-se noi modele descriptive și evolutive și introducîndu-se astfel problematica ecologiei în preocupările biotehnologilor.

În ultimele decenii, prin aclimatizarea voluntară sau accidentală a unor specii animale sau vegetale în locuri în care de obicei erau absente, s-a creat un cadru observațional, experimental, nou.

Studiul distrucțiilor naturale sau artificiale a mediului sau a echilibrelor naturale coroborate cu observații etologice (de comportament) au condus la studii corelate asupra influenței factorilor fizici asupra longevității, ai fecundității, a vitezei de creștere a diferitelor specii, a adaptabilității și a răspunsurilor la variațiile complexe ale factorilor de mediu, date absolut necesare în cercetările aplicative în scop industrial.

A fost cercetată în laborator rezistența a numeroase specii la lipsa de hrană, la schimbarea regimului alimentar, la variațiile lumini, a temperaturii și umidității. S-au pus în evidență factori care contribuie la apropierea indivizilor sau care le provoacă repulsia, descoperindu-se motivații ale migrării, ale deplasărilor unor specii și s-au studiat substanțe secretate și diseminate în mediu, ce au rol de protecție împotriva concurenței unor alte specii.

Pornind de la ideea că o specie ce populează un areal îl exploatează la maximum și este deci dependentă în multiplicarea sa de posibilitatea de refacere a resurselor, se construiesc modele ecologice, care, generalizate și matematizate, conduc la o teorie cantitativă ecologică folosită în studii de sinteză, cu implicații interdisciplinare.

Ecologia contemporană a ajuns la concluzia că poluarea actuală a planetei noastre este constituită și se află sub controlul unor echilibre fragile în veșnică schimbare și sub influența directă a acțiunii factorilor fizici și umani. Fiecare specie prezentă în mediu, indiferent de importanța pe care i-o atribuim, joacă un rol bine determinat față de toate celelalte specii și intră în concurență fie pentru teritoriu, fie pentru hrană, pentru apă sau aer, pentru accesul la lumină ș.a.m.d., cu toți factorii vii din acel areal.

Mai mult, fiecare individ al unei specii joacă un rol în echilibrul ansamblului și modifică productivitatea proprie și nivelul ecologic, caracteristic fiecărui teritoriu natural.

Variațiile biomasei produse în unitate de timp (totalitatea viețuitoarelor, animale sau vegetale, ale unei regiuni) variațiile anumitor elemente considerate caracteristice (de exemplu conținutul de clorofilă a apei dintr-un lac) sînt indici semnificativi ai productivității biologice.

Intervenția omului, prin masiva sa creștere demografică, a modificat mecanismele naturale de reglare, dere-

glînd dinamica resurselor, de altfel limitate, ale planetei pe care o locuim.

Ecologia trebuie să devină, prin excelență, școala modestiei; ea ne învață că tot ce se reînnoiește fără încetare nu apare decît pe baza a ceva preexistent. Acest ciclu nu poate fi întrerupt fără consecințe deosebit de grave.

Să luăm ca exemplu cîteva preocupări ale biotehnicii care ne pot ilustra aceste aspecte. Studiile de ecologie terestră au demonstrat că pentru fiecare specie de microorganisme patogene există sute de specii ce pot fi utilizate bine în folosul omului. Acțiunea microbiană, menține nivelul oxigenului din aer și fixează azotul în forme organice necesare plantelor, jucînd un rol esențial în elaborarea acizilor nucleici ce stau la originea proteinelor. Cîmpul microbiologiei teoretice și aplicate este cvasinelimitat.

Așa cum am arătat anterior industria biosistemelor în microbiologie a cunoscut un puternic ritm de dezvoltare în ultimele două decenii, în prezent realizîndu-se numeroase produse ca: aminoacizi, enzime, vitamine, drojdii, furaje, antibiotice ș.a.m.d. Prin procedee noi, microbiologice, se extrag din minereuri metale (cupru, germaniu, molibden etc.), se epurează apele reziduale, se fabrică antidăunători și îngrășăminte bacteriene. Capacitățile de producție microbiologice sînt de ordinul a sute de mii de tone pe an și se preconizează să ajungă de ordinul milioanelor.

Prin hidroliza lemnului și a altor deșeuri vegetale vor fi obținute noi substanțe furajere, care erau, pînă de curînd, fabricate din parafine, iar gazele naturale vor deveni materia primă pentru obținerea alcoolului și a unor proteine din metanol.

Industria petrochimică, metalurgică și industria constructoare de mașini vor beneficia de mari cantități de furfurol (aldehidă toxică), obținut prin prelucrarea microbiologică a deșeurilor vegetale. Metale neferoase vor fi extrase din minereuri prin solubilizarea în zăcămînt cu soluții și agenți de extracție utilizînd drojdiile.

De asemenea, industria medicamentelor, a parfumurilor și cosmeticilor și, în general, toate procesele de sinteză se vor bucura de metode biotehnice cu un consum redus de energie.

Problema obținerii unor biomase și a unor bioenergii ieftine, preocupă intens mediile de cercetare biotehnice. În prezent, în Brazilia și în alte țări se fabrică din tulpini de trestie de zahăr și din palmieri zeci de milioane de litri de alcool-carburant pentru vehicule, fiind prevăzută o continuă creștere a acestei fabricații.

Marea Britanie produce alimente sintetice pentru animale. Concernul I.C.I. produce 150 000 t de pruteen, utilizînd procedee bacteriene, produsul conținînd 7% proteine.

Cercetători de la Universitatea Carolina (S.U.A.) se ocupă de cîtva timp de o specie de bacterii — *acetobacter xylinum*, care trăiește pe fructe dulci putrezite și care produce benzi de celuloză pură, ca produs secundar al metabolismului bacterian, benzi care sînt mult mai rezistente decît fibrele de bumbac. Din aceste panglici se poate produce hîrtie sau țesături foarte fine, dar rezistente. Recombinarea genetică ar putea crea microorganisme care să fie capabile de fotosinteză și producerea de celuloză, procedeu mult mai puțin costisitor decît cultivarea și recoltarea bumbacului de pildă.

Dar manipulările biotehnice trebuie orientate nu numai pentru producția maximă și diversificată a unor bunuri utilizabile în consum, ele trebuie să țină seama de inserția armonică a producției tehnologice a acestor produse, cu păstrarea echilibrului ecologic.

Un alt exemplu asupra marii arii de preocupări a biotehnologiei în domeniul ecologiei este impactul radiobiologic, asupra căruia ne vom referi mai pe larg în paginile care urmează.

Aspecte radioecologice în conservarea naturii. Din ce în ce mai mulți biologi sînt preocupați în tratarea problemelor ecologice de efectele și influența radiațiilor asupra ecosistemelor. Importanța problemelor ce trebuie rezolvate crește în proporție aritmetică, o dată cu înmulțirea geometrică a numărului indivizilor.

Firește că, în abordarea studiului interferențelor dintre radiațiile ionizante și materia vie, intervin o serie de parametri a căror acțiune, de multe ori minimalizată, a dus la consecințe cu accente nefaste în conservarea naturii, problematică ce devine din zi în zi mai acută pentru evoluția vieții pe planeta noastră.

Cuvintele lui Réne Dubos: „nu avem decît un singur

pămînt" care subliniază că omul trăiește într-o lume naturală a plantelor și animalelor, a solului și a apelor, ne atrag atenția că omul trebuie să includă în preocupările lui conservarea biosferei, care l-a precedat de ani, din care face parte și în afara căreia nu poate exista.

În cadrul biosferei, ființele vii s-au dezvoltat sub influența directă și indirectă a radiațiilor de tot felul provenite din cosmos, de la soare sau de la zăcămintele radioactive din subsolul terestru. Fondul natural radioactiv a intrat ca un element esențial în structurarea metabolismelor, în modificările biologice și genetice ale tuturor organismelor. Variațiile acestui fond au fost imprimate sub o formă vizibilă în structurile și fiziologia materiei vii.

În ultimele sute de ani specia umană a început să-și rupă ancorele care o țineau legată de natură, învăluindu-se în tehnosfera obiectelor pe care le-a creat și pe care le construiește în goana ei după confort și prosperitate. O dată cu aceasta a dezvoltat de cîteva decenii industrii legate de energii noi printre care cea nucleară. Astfel la fondul radioactiv natural s-a adăugat o intensă și rapidă contaminare conștientă, o poluare radioactivă extinsă, ale cărei efecte încep să fie resimțite și stau la baza unei îngrijorări, care din potențială devine din ce în ce mai reală. Folosirea resurselor radioactive în cele mai diferite scopuri, începînd cu cercetarea și aplicarea medicală în diagnostic și tratament, cu aplicațiile în agricultură, și pînă la folosirea industrială și în scopuri militare, constituie o gamă extrem de bogată de surse de poluare a mediului înconjurător. Experiențele nucleare precum și celelalte utilizări în afara efectelor directe imediate sau tardive conduc la creșterea cantităților de deșeuri și reziduuri radioactive în subsolul și apele rîurilor, mărilor și oceanelor. O mare parte din aceste substanțe radioactive intră în ciclurile biologice pe căi și moduri nedorite, contribuind la crearea unor condiții ecologice noi a căror implicații previzibile pot avea urmări asupra generațiilor viitoare.

Planurile economice ale dezvoltării omenirii prevăd folosirea intensă a surselor energetice nucleare și, implicit, a creșterii numărului de zăcăminte radioactive exploatate. Va urma firesc o creștere a radioactivității, a cărei acțiune la scara prevăzută poate duce la modificări periculoase și posibil ireversibile ale sistemelor naturale.

Dacă am ignora toate efectele directe, somatice, asupra ființelor vii, referindu-ne numai la efectele genetice, mutagene, ale radiațiilor, urmările previzibile ar fi suficient de nefaste, pentru a îndreptăți semnalul de alarmă în vederea conservării naturii și a vieții. Leziunile induse de radiații în materialul genetic, în acizii nucleici, constituie o dovadă clară a nocivității cantității suplimentare de iradiere, pentru care sistemele vii nu posedă încă mijloace eficiente de apărare.

Efectele indirecte asupra faunei și florei prin intermediul acțiunii corelate ale radiațiilor cu alți factori naturali, avînd efecte asupra hranei și a condițiilor de viață, ridică numeroase probleme radioecologice. Implicațiile iradierilor și modificărilor radiochimice sînt numeroase în ceea ce privește fertilitatea, variabilitatea și chiar supraviețuirea a numeroase specii și organisme. Schimbările echilibrelor ecologice atrag după sine mecanisme noi modificate în lupta pentru păstrarea echilibrului natural. Este necesară și firească cunoașterea din ce în ce mai aprofundată a tuturor modificărilor și instituirea unui lanț de măsuri protective, eficace, pentru preîntîmpinarea unor dezacorduri grave între expansiunea prosperității legate de progresul tehnologiei și conservarea mediului natural, leagăn al întregii civilizații.

O evaluare justă și o analiză realistă a acestor probleme, noi din punct de vedere ecologic, este foarte importantă și necesară. Efectele biologice elective ale radiațiilor nu au fost complet elucidate, una din cauze fiind dificultatea de a le deosebi de efectele induse de către alți factori ce acționează simultan.

În ultimii 30 de ani exploziile nucleare, construcția de reactoare etc. au influențat multiplicarea surselor nucleare utilizate pe scară înaltă în industrie, agricultură și în cercetările științifice cele mai diverse, sporind treptat nivelul radiațiilor, ridicînd probleme importante privind sănătatea publică pe plan internațional.

Una din preocupările biotehnologilor în domeniul radiobiologiei este studiul surselor și natura contaminării radioactive a mediului înconjurător, în vederea cunoașterii efectelor ecologice potențiale de utilizare tot mai intensă a unor microorganisme și plante de importanță industrială.

În acest cadru radioecologia studiază și aspectele de

adaptare pentru om și pentru ecosistemele naturale ce rezultă din exploziile sau manipulările nucleare și eliminarea deșeurilor radioactive, care produc contaminarea aerului, apei și solului și, în consecință, contaminează lanțul alimentar conform schemei: aer-sol-plante-animale-om. Definiția radioecologiei cuprinde studiul relațiilor dintre ființele vii și mediile radioactive, medii contaminate prin diferite căi. Radioecologia, ca un nou capitol al științei creat de necesitatea acută de a asigura protecția omului și a mediului său, reunește eforturile unui mare număr de discipline (fizica, chimia, agronomia, climatologia, hidrobiologia, botanica, zoologia) cu cele ale unor ramuri interdisciplinare (bionica, cibernetica, radiogenetica) și ilustrează convingător încadrarea sa în preocupările biotehnologiei.

Majoritatea studiilor afectate acestui subiect au clasificat domeniile radioecologiei în trei grupe principale: radioecologia atmosferică, radioecologia continentală și radioecologia marină.

Prima grupă cuprinde cercetări legate de fenomenele de transfer ale radioelementelor din atmosferă spre biosferă. A doua grupă este constituită din studii legate de toți termenii de transfer ai radioelementelor în mediu continental (ape dulci, plante și animale de apă dulce, sol, plante de cultură). A treia grupă reunește toate cercetările ecologice cu privire la poluarea radioactivă a apelor oceanice.

O problemă de actualitate, care interesează în mod egal radioecologia și ingineria alimentației, este determinarea nivelului maxim de radioactivitate admis în produsele alimentare. Este dificil a ține o evidență unitară a sutelor de căi și mijloace prin care acționează noxele radioactive. Analizînd succint unele surse de iradiere și contaminare vom încerca să conturăm aspectul complex al problematicii radioecologice.

Studiile au arătat că 78% din particulele primare ale radiațiilor cosmice sînt protoni (atomi de hidrogen), aproximativ 20% sînt particule alfa (atomi de heliu) și aproximativ 2,5% sînt atomii elementelor mai grele. Reacția protonilor cu oxigenul și azotul în straturile superioare ale atmosferei sînt produse de diverse dezintegrări nucleare. În aceste procese se pot obține mezoni „pi". Dintre elementele radioactive C^{14} prezintă o importanță specifică

pentru ecologie, deoarece el este prezent în proporție de 7 pCu/g de carbon în natură, ceea ce înseamnă pentru fiecare om o doză de iradiere de ordinul 1 mrad pe an. C^{14} fixat în oasele iradiate și în măduva osoasă are un efect mutagen de 10 pînă la 20 de ori mai ridicat decît cel provenit de la iradierea externă.

Radiația cosmică este firește variabilă în funcție de altitudine și latitudine. La nivelul mării, doza de iradiere este pe fiecare om de aproximativ 20 pînă la 30 mrad pe an în timp ce podișurile ating 150—200 mrad. Media mondială este evaluată la 40 mrad.

Radiațiile telurice sînt emise de toriu și radiu, precum și de produșii lor de filiație. La aceasta se adaugă K^{40}, prezent peste tot în scoarța terestră. Radioactivitatea ambiantă la nivelul solului depinde de natura lui și de felul rocilor.

În partea superioară a terenurilor calcaroase dozele curente nu depășesc 30 mrad pe an, în partea superioară a zonelor de granit pot atinge 160 mrad. În împrejurimile zăcămintelor radioactive dozele primite pot deveni considerabile. Astfel, în Kerala (India), s-au găsit doze de 4 000 mrad la suprafața unor zăcăminte. Analiza plantelor din regiunile telurice dovedește posibilitatea unor contaminări a lanțului alimentar datorită radioelementelor lor naturale. În afara iradierilor naturale, în cazul celor accidentale, sînt elocvente consecințele nefaste ale primelor explozii atomice din al doilea război mondial, ilustrate nu numai prin decesul persoanelor care au fost supuse șocului și iradierii sau prin apariția anomaliilor la descendenții persoanelor iradiate, ci mai ales prin efecte tardive. Numeroase cercetări medicale efectuate în Japonia au pus în evidență complexitatea urmărilor, apărute pe termen lung, produse de iradiere asupra omului și a urmașilor lui, subliniind implicațiile psihologice care au urmat. Numeroase observații atestă efectele nocive asupra solului și vegetației. Experimentele cu diferite tipuri de arme nucleare au continuat și continuă în diferite părți ale globului mărind de fiecare dată contaminarea radioactivă, din această cauză rezultînd o iradiere suplimentară a populației. Explozia unei bombe nucleare produce o gamă largă de radioelemente printre care: I^{131}, Cs^{137}, Zr^{91}, Sr^{103}, Ru, Rh^{106}. Rezultă, de asemenea, în urma bombardării azotului atmosferic de către neutroni o mare

cantitate de carbon radioactiv. Marile cantități de radioelemente sînt transportate în straturile înalte ale atmosferei și în stratosferă. O parte din ele recad pe pămînt cîteva săptămîni după explozie, iar o altă parte rămîne în norii radioactivi care înconjoară planeta, nori purtați de către curenți eolieni. Aceste substanțe coboară lent din stratosferă în troposferă și prin precipitații recad pe pămînt. Acest proces poate dura mai mulți ani. Căderile radioactive joacă un rol determinant în contaminarea sistemelor biologice. Cele locale, formate din particule care contaminează regiunile apropiate locului exploziei și care se depun în cîteva ore, constituie cea mai primejdioasă formă de cădere cauzînd o înaltă intensitate de radiații emise de către radionuclee cu viață scurtă, urmată de căderi troposferice alcătuite de către particule fine. Aceste particule circulă în troposferă sub forma unei „centuri" în jurul pămîntului la latitudini apropiate de cea a exploziei. Ele precipită pe sol prin ploi sau zăpezi, durata mijlocie de persistență fiind de 5—6 săptămîni. Din marele rezervor stratosferic, particulele recad pe pămînt în decursul mai multor ani. O considerabilă difuzie laterală de la căderile stratosferice duce la o contaminare a unor mari întinderi terestre. În cazul unui accident în cadrul exploatării unei pile atomice, marile cantități de produse de fisiune care iau naștere din elementele combustibile prezintă o mare primejdie publică în cazul „scăpării" lor în mediul ambiant. Printre aceste produse unele sînt foarte periculoase prin similitudinea lor chimică cu elementele constitutive ale materiei vii. Acești izotopi radioactivi se pot concentra în diverse ecosisteme și prin acestea în organismul uman. În contaminarea mediului înconjurător de către un eventual accident de la o pilă atomică, factorii meteorologici joacă un rol important. În afara iradierii externe intervine pericolul iradierii radioactive, în special cu I^{131} care este fixat în mod selectiv de către tiroidă. Calcule precise au arătat că cel mai important pericol este acela al contaminării laptelui de către I^{131}. În absența măsurilor de control, consumul laptelui provenit de la animale care au pășunat pe cîmpuri contaminate poate deveni o sursă de iradiere pentru populație.

Este cunoscut că solul conține în structura sa unele elemente radioactive ca: uraniu, toriu, radiu și potasiu.

Fenomenul concentrației selective a radioelementelor caracteristic plantelor pune probleme pentru sănătatea consumatorilor. Importanța radioelementelor ca surse de iradiere depinde de mai mulți factori și anume: viteza transferului lor de către lanțurile trofice, intensitatea absorbției lor pe cale gastrointestinală, cantitatea acumulării și reținerii în țesuturi, viața medie a radioelementelor, tipul și energia radiației emise de către aceste radioelemente. Din punct de vedere radioecologic este important de cunoscut momentul în care o substanță radioactivă intră în lanțul trofic, la care punct al lanțului se acumulează, la care punct se elimină din lanț și în ce proporție și bineînțeles ce efecte poate avea.

În legătură cu aceste aspecte solul ocupă un loc foarte important. Produsele de fisiune care cad pe pămînt, ca urmare a exploziilor nucleare, sînt asemănătoare celor eliminate de către uzine și reactoare nucleare, conținînd aproximativ 30 de radioelemente. Din toate aceste radioelemente specialiștii au selecționat și studiat mai amănunțit trei, pe cele care au o importanță particulară din punct de vedere ecologic și anume:

Sr^{90} care este fixat selectiv în oasele organismelor vii, avînd o viață medie lungă; Cs^{137} care circulă cu ușurință în organisme, avînd de asemenea viață medie lungă; I^{131} care se acumulează selectiv în glanda tiroidă avînd o viață medie, relativ scurtă.

Primele două elemente radioactive ocupă un loc important în depunerile vechi, pe cînd I^{131}, prezintă un interes special în cazul căderilor recente și în cazul reactoarelor nucleare.

Cele trei radioelemente, despre care amintim, au fost investigate după mai multe criterii și anume: după abundența relativă în produși de fisiune, în funcție de absorbția de către aparatul digestiv, perioada de dezintegrare, perioada biologică, gradul de penetrație în organismul uman, stabilindu-se dozele admisibile.

Mai adăugăm și faptul că viteza de transfer a radioelementelor în sol este în funcție de o serie de factori printre care: precipitațiile, valența ionică și caracteristicile solului (capacitatea de absorbție, concentrația soluției în sol, constanta de schimb ionic). În acest context Sr^{90} ocupă un loc special din punct de vedere ecologic datorită similitudinii caracteristicilor lui chimice cu cele

ale calciului. Raportul Sr^{90}/Ca în plante va fi foarte apropiat de același raport existent în soluția solului legat de momentul contaminării lui de către o anumită cantitate de Sr^{90}, absorbția acestui element fiind determinată de raportul Sr^{90}/Ca a soluției solului. Este evident că diluția Sr^{90} este mai mare în soluțiile bogate în calciu și prin urmare unitatea de stronțiu va fi redusă proporțional.

Legat de practica agricolă, s-a constatat că aplicarea îngrășămintelor azotate, fosfatice și potasice exercită o influență nesemnificativă asupra unității de stronțiu a solului și a plantei. Contaminarea directă a plantelor de către căderile radioactive care se depozitează pe suprafața lor este mai periculoasă decît contaminarea indirectă, datorită faptului că în cea indirectă radioelementele sînt diluate și fixate de către ionii solului. Morfologia plantelor joacă un rol important în acest tip de contaminare în determinarea gradului de absorbție directă prin frunze și alte părți ale plantei.

Radioecologia a făcut progrese remarcabile în domeniul cunoașterii mecanismelor de contaminare radioactivă a ecosistemelor utilizînd modele simulate. În aceste modele plantele sau solul sînt contaminate artificial prin soluții radioactive, fie prin stropire, fie prin irigare.

Contaminarea apei și procesele de transfer ale radioelementelor în ecosistemele acvatice constituie de asemenea un domeniu de interes biotehnologic. Importanța apei pentru viață este bine cunoscută. În primul rînd, apa este un constituent esențial al materiei vii. În al doilea rînd apa ocupă 4/5 din suprafața globului și în al treilea apa conține surse foarte importante de alimentație pentru o mare parte a populației. Apele oceanice au făcut obiectul a numeroase studii cu privire la doza de radioactivitate la diferite nivele, transferul și metabolismul radioelementelor în organismele vegetale și animale marine.

Se știe că viața animalelor în oceane este direct sau indirect dependentă de plancton. Planctonul este utilizat ca hrană pentru animale sub formă de suspensie, iar importanța sa pentru transferul radioelementelor în lanțurile trofice este în funcție de perioada de timp în care radioelementele sînt reținute de către plancton, de dimensiunea și numărul celulelor și de eficiența digerării planctonului de către animale.

Prin experiențele efectuate în laboratoarele de profil

s-a pus în evidență faptul că planctonul acumulează un mare număr de elemente din apă, jucînd astfel un rol foarte important în purificarea mediului.

Cercetările asupra capacității planctonului de reținere a radioactivității au pus în evidență speciile care pot acumula cantități mari de radioelemente. Astfel, de exemplu, *Oedogonium* conține o radioactivitate de 10 000 de ori superioară celei a apei din mediu.

Probleme speciale din punct de vedere ecologic sînt puse de către deșeurile lichide radioactive deversate în apele dulci (lacuri și rîuri), de către instalații nucleare.

Cîteva date privitoare la două mari fluvii, Tamisa în Marea Britanie și Columbia în U.S.A. sînt edificatoare. Din Tamisa s-au luat eșantioane de plante, pești și mîl în amonte și în aval de punctul de revărsare a afluenților prin măsurarea Sr^{90} și Cs^{137}. Radioactivitatea eșantioanelor luate în aval a fost de la 10 la 100 ori mai mare comparată cu cea a eșantioanelor luate din amonte.

Printre produsele de origine animală, laptele a făcut obiectul numeroaselor studii legate de contaminarea radioactivă. Aceasta se explică prin faptul că laptele este cel mai bun indicator al gradului de contaminare cu iod radioactiv.

Modul cel mai sigur de a aprecia nivelul de contaminare a lanțurilor alimentare și a omului este analiza directă. Numeroase analize efectuate asupra cărnii, cerealelor, fructelor și legumelor au dovedit prezența Sr^{90} și a Cs^{137}.

Din punct de vedere al acțiunii chimice, se știe că stronțiul este asemănător cu Ca iar Cs este similar cu K. Pe de altă parte se știe că elementul calciu este un constituent esențial al oaselor și că potasiul este un element esențial pentru celule și țesuturi (mai ales mușchi). În cazul unei contaminări a scoarței terestre de către Sr^{90} și Cs^{137} acestea pătrund în ciclurile ecologice prin care omul își obține alimentele de bază. Ca urmare a acestei contaminări, omul este supus la o iradiere internă de durată lungă. Pentru o mai bună estimare a pericolului legat de iradierea radioelementelor este necesar să se determine contaminarea dietei totale.

Efectele modificărilor potențialelor biologice de către radioelementele absorbite în organism necesită o lungă perioadă pentru a se manifesta, în comparație cu efectele

iradierii externe. Pentru aceste motive s-a acordat o atenție specială studiilor calitative și cantitative în ceea ce privește circulația și metabolismul radioelementelor. În prezent numeroase tehnologii moderne fiind puse în serviciul acestora.

Problemele radioecologice sînt departe de a fi rezolvate. Noi aspecte derivate din studiile întreprinse pînă în prezent se cer clarificate și necesită recomandarea unor măsuri specifice.

Radiobiologia și radiogenetica modernă nu pot progresa fără aprofundarea studiilor radioecologice de care este legată, în ultimă instanță, evoluția vieții pe pămînt.

Un aspect important în corelație cu problematica ecologică este nevoia mereu mai mare de energie și resurse energetice.

Redăm mai jos după revistele *Impact* și *Science et societé* (nr. 30/3 din 1980) o evaluare a fenomenelor naturale care contribuie la potențialul energetic al planetei:

Estimarea potențialului energetic al fenomenelor naturale

Surse de energie disponibile	Energie totală (wați)
Energie solară directă	
— în locul unde razele solare pătrund în atmosferă	10^{17}
— la suprafața Pămîntului	10^{16}
Fotosinteza (înmagazinează lumina solară sub formă de energie chimică în grăsimi, proteine și hidrați de carbon, care sînt tot substanțe combustibile)	
— organisme marine	10^{14}
— pămînturi cultivabile, păduri	10^{13}
Biotransformarea deșeurilor	
— reziduuri din uzine și dejecții animale pot fi transformate de bacterii în combustibili gazoși, hidrogen și metan, după ce au fost stocate în containere ermetice, la temperaturi corespunzătoare	10^{12}

Surse de energie disponibile	Energie totală (waţi)
— gunoaiele menajere, reziduurile de la împrăştierea îngrăşămîntului pe cîmp şi reziduuri de la fructe (putînd fi transformate prin acelaşi procedeu)	10^{12}
Energia termică a oceanelor	
— Căldura solară absorbită de apa oceanelor (s-ar putea utiliza exploatînd diferenţele de temperatură dintre apa de la suprafaţă şi cea din straturile profunde pentru a produce o energie ce ar putea acţiona turbinele:	
— Energia eoliană provenită din vînturile regulate de suprafaţă ca alizeele (atolii ar reprezenta locuri favorabile construirii unor eoliene de mari dimensiuni)	10^{12}
— O energie provenită din vînturile variabile de suprafaţă (la latitudini medii unde vînturile sînt neregulate)	10^{12}
Energia hidroelectrică	
(provenind de la exploatarea energiei cinetice a apelor în mişcare)	
— Energia precipitaţiilor (teoretic ar putea fi exploatate dar totalul precipitaţiilor de pe glob, chiar dacă se ţine seama de cele primite de oceane, nu ar satisface decît 10% din necesarul energetic mondial)	10^{12}
— Debitul cursurilor de apă (exploatabile prin centralele hidroelectrice tradiţionale)	10^{11}
— Schimburile naturale datorate evaporării între masele mari de apă (de exemplu Marea Mediterană şi Marea Roşie, în care evaporarea este mai puternică decît în oceane; aceste mări primesc deci din oceane un flux continuu destinat să compenseze pierderea prin evaporare; acest flux poate fi exploatat în amonte)	10^{9}

Surse de energie disponibile	Energie totală (waţi)
— Baraj de bazine de evaporare barînd strîmtorile şi lăsînd mări să se evapore pînă ce nivelul apelor lor scade cu cel puţin 100 metri, lăsînd apoi din nou apele oceanelor să pătrundă; s-ar putea acţiona roţi cu palete care ar produce o energie suplimentară; aceste baraje nu ar fi uşor de realizat din cauza cutremurelor de pămînt	10^{11}
— Energie motrice (exploatabilă în special în locuri de maree maxime)	10^{9}
— Energia marilor curenţi oceanici ca Gulf Stream şi Kuroshiwo. Teoretic aceşti curenţi ar putea fi exploataţi asemenea cursurilor de apă prin intermediul roţilor hidraulice	10^{8}
— Valurile de suprafaţă de-a lungul coastelor (Exploatarea energiei acestor valuri ar putea produce în medie 10^{6} waţi pe km de coastă)	10^{10}
Energia geotermică	
— (în special pe centura de foc a Oceanului Pacific, denumită astfel pentru că pe acest circuit plăcile tectonice se întîlnesc provocînd erupţiile vulcanice; acelaşi fenomen se produce de-a lungul coastelor mezooceanice)	10^{10}
Necesarul de energie la nivel mondial	
— Ansamblul necesităţilor civilizaţiei de pe glob	10^{13}
— Metabolismul uman (energia totală sub formă de hrană necesară pentru a asigura subzistenţa populaţiei actuale de aproximativ 5 miliarde de locuitori)	10^{11}

În cercetările asupra mediului înconjurător, în zilele noastre, predomină încă o concepţie naturistă, adică de limitare la cunoaşterea elementelor din cadrul natural — apă, aer, sol — şi uneori a construcţiilor urbane şi

industriale, fără a se ține seama de factorii de ordin cultural și social caracteristici relațiilor interumane. De asemenea sînt mai puțin considerate acțiunile preventive și mai mult cele privind măsurile de reparare a valorilor ecologice.

Viziunea de ansamblu este singura eficientă în perspectiva optimizării mediului ambiant și ea caracterizează opțiunile tehnobiologice.

Protejarea anumitor echilibre ecologice nu poate fi făcută decît în contextul multi- și interdisciplinar, în care educația joacă un rol esențial. Orice strategie concepută în această problemă trebuie bazată pe cunoașterea balanței ecologice a teritoriului studiat, cuprinzînd cunoașterea corectă a factorilor nocivi care acționează în patrimoniul ecologic. Aceasta are ca prim scop, formarea unei conștiințe ecologice la întreaga populație umană. Metodologia pentru analiza ecosistemelor trebuie să cunoască o largă răspîndire și să fie cunoscută nu numai de specialiștii din domeniu. În acest fel creativitatea tehnologică în slujba biologiei și a omului va rezolva multe probleme ce se vor dovedi acute, cum ar fi de pildă demografia și dezvoltarea.

Calculele estimează că populația globului va fi de 6,1 miliarde în anul 2000, 7,3 miliarde în anul 2010 și 8,3 miliarde în anul 2025. Raportul asupra „Stării populației în lume" publicat de Fondul Națiunilor Unite arată că populația pămîntului ar putea ajunge la 25 miliarde de oameni în următorii 130 de ani, din care 9,5 miliarde ar putea trăi în zonele țărilor aflate în prezent în curs de dezvoltare, Africa și Asia înglobînd peste 6% din populația mondială. Teoretic și practic, pămîntul prin resursele sale naturale și societatea modernă prin tehnologiile sale sînt capabile să asigure supraviețuirea a peste 12 miliarde de locuitori. În viitor prin progresul tehnologic vor fi posibile mijloace de trai pentru dublul acestei populații. Reglările demografice și resursele inteligenței umane pot face planeta locuibilă pentru multe milenii de acum înainte. Dispariția civilizațiilor a marcat succesiunea acestora în timp prin moștenirea de la una la alta a diferitelor stiluri, care au fost păstrate în cîștiguri de spiritualitate în descendența continuă. Generații întregi au dispărut, dar omul nu a pierit, el fiind rezultanta mutațiilor pe care le-au suferit predecesorii săi.

Ce este bioarhitectura?

Este binecunoscut faptul că în prezent există o tendință vizibilă în țările cu o populație mare ca numeroși locuitori să se refugieze în megalopolisuri, numărul orașelor de peste un milion de locuitori fiind în creștere. Există evaluări care predicționează că la sfîrșitul secolului vor exista orașe de peste 20 milioane de locuitori. În același timp unele mari metropole (Paris, Londra, New York etc.) încep să se depopuleze, o anumită parte din populație preferînd viața în așezări urbane mai mici sau chiar în mediul rural.

Multiple cauze determină acest exod al populației în ambele sensuri, un rol important revenind situației economice, stării de criză și nivelului șomajului și al posibilităților de muncă, dar și unor motivații psihice individuale. Cum ar putea contribui concepția biotehnologică la progresul arhitecturii?

Arhitectura trebuie să reprezinte o unitate tehnico-artistică a simțului pentru ornamental și forme echilibrate, pentru funcționalitate și perfecțiune logică constructivă, pentru spațiul aerat și cromatica optimă. Preferința pentru motive geometrice stilizate sau pentru motive florale, pentru forme dinamice sau pentru simboluri, reflectă talentul și rafinamentul creatorului de frumos în arhitectură.

Dorința de a cunoaște cît mai multe lucruri despre natură a stat la baza dezvoltării arhitectonicii și tehnologiei, primele construcții (de la colibe la piramide) imitînd forme de relief întîlnite în natură. Ordinea a fost legată întotdeauna de necesitatea naturală.

Arhitectura a urmărit întotdeauna realizarea unui echilibru între plin și gol.

Lumina și culoarea, volumul și confortul, linia și desenul, proporția și eleganța sînt „antiteze" de a căror fericită rezolvare depinde reușita arhitectului și rămînerea operei sale peste timp.

Dar orice operă arhitectonică își pierde enorm din valoare dacă nu este plasată într-un cadru potrivit.

Multe din frumoasele realizări ale arhitecturii citadine ar căpăta un contur valoric mult mai mare, dacă le-am vedea în mijlocul unui cîmp verde, al unui parc sau înconjurate de o grădină. Problemele de spațiu nu permit întotdeauna asemenea rezolvări.

Poate că nici un domeniu nu este mai avid de renovare ca arhitectura. Tendințele către plasticizarea formelor către o expresie mai liberă sînt ilustrate pentru acest demers. În raport cu dominanța volumelor cubice și paralelipipedice ale arhitecturii interbelice, în prezent sîntem martorii unor eforturi creatoare vizînd forme libere, uneori sculpturale. Acoperișurile concave și convexe alternează cu terase plane cu tendințe de ancorare în linia generală a construcției.

O revistă de specialitate subliniază ponderea din ce în ce mai mare pe care trebuie să o aibă proiectarea în desenul arhitectural în funcție de parametrii biologici optimizați: lumină, culoare, temperatură, spații în contextul vîrstei și ocupației locuitorilor. Se subliniază influența ambianței arhitecturale asupra sănătății psihice a oamenilor. Principiile ergonomice trebuie mai serios reconsiderate (amenajarea spațiilor interioare a școlilor, modificarea mobilierului, culoarea etc.).

Se preconizează înlăturarea mobilierului fix ținînd seama de individualitatea elevului, de nevoia de comunicare, de mobilitate. Elevul din bancă se află mai jos decît profesor și tablă, ceea ce determină o tensiune a mușchilor cefii și-i influențează vascularizația cerebrală, iar faptul că nu întotdeauna ajunge cu picioarele sprijinite pe podea îi creează un sentiment de nesiguranță.

Sînt preconizate clase mici de 10—15 elevi, dotate cu mijloace tehnice vizuale și auditive, iar pentru lucrări practice în grup săli circulare cu o decorație variată și ingenioasă. Trebuie făcut mai mult în domeniul arhitecturii pentru îndepărtarea rigidității și severității, a inhibitorilor din mediu.

O altă concepție majoră care își croiește drum în arhitectura prospectivă este construirea de „orașe subacvatice", „subpământene".

Îndepărtarea poluării terestre, epurarea apelor industriale, care pot fi astfel reciclate, constituie motivații pentru o nouă orientare a bioarhitecturii. Mărirea spațiilor rezervate pentru parcuri și rezervații naturale, în care să nu fie admisă prelucrarea naturii de către tehnologii, este un deziderat al ecologilor și bioarhitecților încă din acest deceniu. În vederea economiilor de mate-

rii prime și restrîngerii poluării se propune scoaterea din fabricație a mii de produse inutile ce se produc în momentul de față și tipizarea altor zeci de mii de profile ce vor putea fi utilizate la scară planetară.

Design-ul industrial etc. capătă o dezvoltare accentuată însușindu-și în mod integrativ o serie de percepte ale ecologiei, etologiei și biotehnologiei.

EVOLUȚIA CREIERULUI UMAN ÎN FUNCȚIE DE PERFECȚIONAREA TEHNOLOGIEI

Putem să ne întrebăm, pe bună dreptate, dacă stadiul actual al dezvoltării encefalului la om este favorabil integrării cunoașterii pe care explozia informațională a declanșat-o și pe care, fără îndoială, o va potența în următoarele decenii.

Ne propunem o scurtă trecere în revistă a actualității și perspectivelor în această problemă.

Să încercăm mai întîi o succintă prezentare a unor date de neurofiziologie și antropologie pentru a cunoaște eventuala corelație între dezvoltarea biologică și cea socioculturală a omului în relație cu dezvoltarea tehnologică.

Studiul unor mulaje endocraniene (de la australopitec, pitecantrop, neandertal) a arătat că diferențele de proporție ale craniului sînt evidente, în special dacă ne referim la lobii frontali. Pentru creierul mijlociu și pentru zona occipitală diferențele sînt mai mici. Greutatea totală a creierului s-a dublat de la australopitec pînă azi. Motricitatea primitivă a fost cartografiată pe o zonă aflată de-a lungul *sciziunii lui Rolando*, pe circumvoluțiile frontale ascendente (aria 4), pe care se pot separa, de la bază spre vîrf, grupuri de neuroni ce controlează fața, degetele de la mîini, membrele superioare, trunchiul și membrele inferioare, realizîndu-se schema „mașinii" corporale, care este identică la maimuțe și la mamiferele carnivore. O proporție de 80% din aria 4 controlează motricitatea capului și a membrelor superioare, iar jumătate din această arie reprezintă controlul limbii, a buzelor, laringelui, faringelui și a degetelor. Aici, diferențele cantitative față de maimuțe sînt mari.

La om, mîna nemaifiind interesată în procesul locomoției devine organ „de fabricație".

Situația topografică comună a feței și a mîinii în aria 4 se explică prin coordonarea între acțiunea mîinii și a organelor aflate pe partea anterioară a craniului. Dacă la maimuțe legătura între față și membrele superioare este numai de natură alimentară, la om exercitarea limbajului, gestul ce premerge și completează vorbirea și scrierea ca „proiecție" a gîndirii și a vocii ilustrează aceste legături.

La *Homo sapiens*, omul actual, dispozitivul cortical este determinat în mare măsură de dezvoltarea tehnicității. Aria motrice 4, înaintea căreia se află aria premotrice 6, este în vecinătatea ariei 8, cu structura intermediară între cele două arii și cea a lobilor frontali, întreaga zonă avînd caracter de integrare, desfășurat pe trei etaje ce cuprind dispozitive aferente impresiilor senzoriale.

Impresiile vizuale au teritoriu propriu (ariile 17—19) în lobii occipitali, iar impresiile somatice, tactile, au o bandă paralelă ariei 4 (ariile 1, 2, 3) pe marginea posterioară a *scizurii lui Rolando*. În ariile temporale 41, 42, 43, 44, după Broca, se află zonele legate de limbaj.

Dacă cortexul confluent al regiunilor frontale, temporale și parietale este constituit din teritorii motoare pentru față și mînă, ariile asociative, de la baza celei de a 2-a circumvoluții frontale (piciorul ariei 9), fac legătura cu piciorul celei de a 3-a circumvoluții frontale (aria 44 a lui Broca), arie a limbajului și în conexiune cu ariile somatice 1, 2, 3. Leziunea acestei arii duce la pierderea vorbirii.

Experiențele neurochirurgicale au atestat că zonele de asociere ale feții și mîinii participă la elaborarea simbolurilor fonetice și grafice. Tulburările din aria 44 duc la afazie, adică la imposibilitatea de formare a simbolurilor fonetice coerente, leziunile în ariile 41-42 determină surditatea verbală (neidentificarea vorbirii) iar lezarea piciorului celei de a doua frontale duce la agrafie (imposibilitatea de a scrie). Leziuni în aria preoccipitală vizuală 19 provoacă alexie (imposibilitatea de a citi).

Dobîndirea poziției bipede a modificat suspensia creierului, a eliberat mîna, permițînd o mai bună dezvoltare a creierului și a facilitat formarea de noi conexiuni, printre care apariția limbajului a fost de o deosebită importanță.

Frontiera umanității a constituit-o îndeosebi apariția limbajului articulat care a dus la dezvoltarea gîndirii.

Studiul „industriilor" din paleolitic (fabricarea armelor și uneltelor) perioadă care a durat aproximativ 3—400 000 ani a condus la ideea apariției unui fel de „stereotip industrial", care a evoluat deosebit de lent.

Documentele paleontologice sînt extrem de rare pentru a permite o comparație între evoluția craniului și uneltele fabricate, care rămîn emanația directă a comportamentului specific legat de modul de viață.

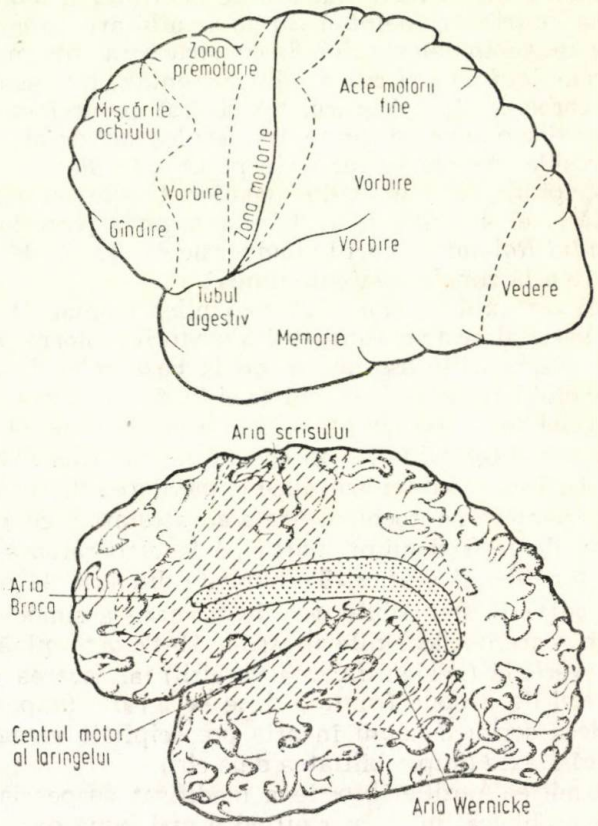


Fig. 30
Zonele asociative și de proiecție în emisferele cerebrale

„Tehnicitatea" omului, de-a lungul celei mai lungi durate cronologice a existenței sale, a fost direct legată de rezolvarea unor necesități elementare ale vieții.

Considerînd evoluția ca un fenomen în relație cu distribuția geografică și condițiile diferite de habitat, creșterea numărului indivizilor a condus la o diversificare a „industriei" prelucrătoare de obiecte.

Fosilele de neandertalieni (aproximativ acum 500 000 de ani în urmă) relevă o apropiere a creierului uman de cel al speciei actuale, cel puțin ca volum și configurație și probabil ca echipament în celule, în particular pentru cortexul median, deși teritoriul prefrontal este de volum relativ restrîns, iar capacitatea cerebrală nu este încă echivalentă mediei actuale. Dezvoltarea crescîndă a ariilor prefrontale antrenează o facultate de simbolizare din ce în ce mai mare.

Studiul comparativ al uneltelor și craniilor descoperite pare să confirme că „producția industrială" se dezvoltă într-un ritm corespunzător evoluției biologice, chiar și atunci cînd nivelul limbajului era scăzut, dar depășea nivelul semnalelor vocalice. „Tehnica" preistorică este în același timp, gest și unealtă, organizate în lanț, în funcție de fixitatea sau supleţea lor. Sinteza operatorie este legată de dezvoltarea memoriei, a perfecționării creierului. Dezvoltarea memoriei și creșterea experienței acumulate determină dezvoltarea vorbirii.

Neurochirurgia și neurofiziologia au studiat mult zonele prefrontale, regiune din encefal împărțită în două părți: neocortexul aflat înaintea ariilor premotrice și rinencefalul corespunzînd unei zone vechi la vertebrate, avînd ca rol principal interpretarea datelor olfactive, dar care la mamiferele superioare a devenit un „dispozitiv" de reglare a emoțiilor.

Cortexul prefrontal este un element principal al personalității, al conștienței lucide, al previziunilor și al reglării, stimulării și inhibării unor acte motrice și afective, jucînd un rol preponderent în dezvoltarea inteligenței. Măsurarea unor repere antropologice definind înălțimea, lățimea și verticalitatea frunții pot aduce date orientative asupra posibilităților de dezvoltare a inteligenței la om. Desprinderea hominidului de restul lumii biologice este astfel corelată cu munca, cu „dezvoltarea pro-

gresului tehnic" și organizarea grupului social, care au dus la diferențierea deosebirilor comportamentale ale omului față de cele ale altor specii înrudite.

Colectivele primitive, organizate în grupuri interesate în problemele hranei și a teritoriului, datorită transhumanței, a migrării în funcție de resurse și de ciclurile sezoniere, capătă o experiență densă, care le determină să înlăture neajunsurile și să cunoască, diferențiat, avantajele organizării. Începuturile agriculturii, a semănăturilor, întîmplătoare la început, apoi dorite, creșterea animalelor, care cu timpul devin acțiuni conștiente, favorizează apariția grupului conjugal și a împărțirii sarcinilor tehnico-economice.

Apariția unor raporturi de grup, de schimb de mărfuri etc. marchează trecerea de la specia zoologică la specia etnică.

Inventarea agriculturii și dezvoltarea sa, care pare să fi avut loc între anii 8 000—5 000 î.e.n., a dus la crearea unor noi unelte, mai bune, deci a constituit un impuls pentru găsirea unor „noi tehnologii, mai perfecționate".

Domesticirea calului și a renului rezolvă problema transportului. Mediul favorabil invențiilor se lărgește.

Trecerea de la vînarea caprelor la creșterea lor înseamnă asigurarea unor cantități sigure de carne și introducerea laptelui în alimentația curentă, fapt ce contribuie la creșterea stării de sănătate a populației. Utilizarea pășunilor delimitează noi arealuri de stabilizare. În timp sînt imobilizate și domesticite alte animale: cîinele, oaia, boul, porcul, măgarul, elefantul etc.

Economia de tip vegetal sedentar și a resurselor animale nomade însă a dăinuit în unele părți ale globului pînă nu demult. Amerindienii din tribul Sioux (în statul Dakota) de pildă erau vînători de bizoni și culegători ai unor plante crescute la întîmplare, chiar și la începutul secolului nostru.

Primele sate, se pare, au apărut cu aproximativ 5 000 ani î.e.n. prin asocierea oamenilor în vederea cultivării plantelor și creșterea animalelor. Armele folosite la vînătoare se diversifică.

Ierarhizarea socială domină dispozitivul tehnico-economic pînă în antichitate și de aici pînă la începutul secolului al XIX-lea.

Coerența biologică a sistemului leagă relația „sălbă-

ticie-primitivism-civilizație", în care dezvoltarea limbajului și a tehnologiei sînt principalele verigi.

Triumful omului asupra materiei are loc odată cu dezvoltarea inteligenței sale creatoare de noi mijloace tehnologice.

Treptat, societatea pe care a conturat-o îl subsumează intereselor colective, prin muncă sau violență, iar omul începe în acest nou mecanism lupta pentru luarea în posesie a lumii naturale, pe care dorește să și-o aservească (proiecția în viitor a acestei tendințe va conduce la secătuirea ultimelor zăcăminte, a distrugerii vegetației naturale, a rezervelor de apă și aer, dacă omul însuși nu-și va impune un real control asupra idealurilor sale de consumator).

Sub imperiul nevoii de exprimare, de exteriorizare, s-a dezvoltat încă din cuaternar, grafismul, la început sub forma artei figurative.

Desene rupestre reprezentînd semne, apoi forme, sînt localizate cu aproximativ 30 000 de ani î.e.n. Imagini ale contururilor unor animale sînt decelate mai tîrziu, iar imagini ale omului apar mai întîi reprezentate simbolic, abstract, iar către anii 20 000 sub forma reprezentărilor stilizate. Pe măsura trecerii timpului, desenele sînt mai construite, mai perfecționate, astfel că în solutren (către anii 15 000) tehnica gravurii sau picturii sînt bine stăpînite apărînd și un prim conținut mitologic al desenelor.

În magdalenian (către anii 11 000—8 000) apar reprezentări realiste ale bărbaților și femeilor sub forma unor ideograme ce depășesc linearismul grafic. În acest moment se situează cizelarea expresiilor fonetice.

Figurarea multidimensională a străbătut timpul, rămînînd ca un mod de exprimare și sistem de notație și la egipteni, chinezi, maiași și azteci. Alinierea imaginilor corespunde unui fillum verbal. Fonetizarea lecturii unor asemenea texte este facilă, avînd o extensibilitate, o ideatică deosebită.

Trecerea la gîndirea rațională se face sincron cu evoluția grupărilor satelor și mult mai tîrziu a orașelor și a dezvoltării metalurgiei, cu aproximativ 3 500 de ani î.e.n. Apariția primilor germeni ai scrisului în Mesopotamia, iar cu 1 500 de ani î.e.n. primele alfabete în Fenicia. Apariția alfabetului vocalizat apare în Grecia cam cu 750 de ani î.e.n. Scrisul converge către o linearizare riguroasă a

simbolurilor, o eliminare a formelor arhaice, a conciziune a înregistrării și redării eficacității fenomenului comunicat. Sînt îndepărtate expresiile iraționale, deoarece sedentarizarea agricolă și dezvoltarea tehnică impun o concretizare și în mijloacele de exprimare.

De la picturile rupestre de cai și tauri de la Lascaux, la semnale mesopotamiene și la alfabetul grec, de la mythograme la ideograme și de la acestea la literele curente, etapele sînt parcurse relativ încet. (Înregistrările sonore, cinematograful și televiziunea au contribuit, cu mai puțin de o jumătate de secol, la marea evoluție a mijloacelor de exprimare.)

Mijloacele audiovizuale au accelerat gîndirea reflectată a preciziei informației și, astfel, limbajul precum și scrisul urmează evoluția generală a supraorganismului colectiv care este societatea modernă. Se naște astfel un oarecare dezechilibru între exprimarea pentru societate și cea individuală, sărăcind oarecum imaginația individului.

Limbajul audiovizual concentrează elaborarea ideatică mai întîi în mintea unor specialiști, care după elaborare și prelucrare sînt redate celorlalți indivizi într-o manieră figurativă sub forma unor imagini ușor de digerat. Aceasta duce global la sărăcirea temelor de reflecție, de gîndire, prin dispariția variantelor imaginative personale, mase mari de spectatori, de consumatori, însușindu-și stereotipic imaginile vizionate.

Cercetări recente de neurobiologie au stabilit că structurile anatomice din SNC (sistemul nervos central), care concură la alcătuirea sinapselor, prezintă o elasticitate particulară, ceea ce permite alungirea sau retragerea lor, fapt care conduce în final la o mai bună consolidare sau din contră, la o desfacere a legăturilor sinaptice.

O bună parte din prelungirile neuronale devin active, pot sinaptiza temporar sau definitiv în funcție de anumite necesități funcționale. Astfel, primăvara, la păsări, sub impulsul unor descărcări hormonale, aceste formațiuni „cresc" alcătuind zone conectate noi cu funcții bine individualizate, de pildă pentru rememorarea cîntecelor. Aceste structuri neuroanatomice cu funcție mnezică alcătuiesc la om sisteme de marcaj al memoriei; învățarea definitivă se realizează prin formarea unor trasee în perioada de timp în care aceste formațiuni prezintă această plasticitate — cînd pot crește sau se pot retracta. Cer-

cetătorii din domeniu afirmă că această perioadă durează la om de la naștere pînă la vîrsta de 18—20 ani, după care noi contacte sinaptice solide sînt din ce în ce mai dificile.

Modul și starea de nutriție limitează de asemenea numărul și felul alcătuirii circuitelor cerebrale. În principal însă, existența unor stimuli bogați, variați, repetați contribuie în mod esențial la procesele de învățare prin stabilirea unor legături neuronale convenabile.

Orice proces de învățare activează o anumită funcție stimulînd grupe celulare necesare acestei funcțiuni. Stimularea prin jocuri verbale la un copil activează zonele limbajului; exercițiile fizice care vizează echilibrul acționează asupra regiunilor neuronale cu localizarea acestei funcții. Bogăția sinaptică zonală concretizează și o proliferare intensă celulară și oferă posibilități multiple pentru noi conexiuni, perfecționînd posibilitățile de înmagazinare și utilizare a experienței cîștigate, a măririi registrului de combinații asociative. Dezvoltarea inteligenței are în acest mecanism una din explicațiile sale.

După vîrsta de 20—22 ani omul pierde cu cîteva mii de neuroni zilnic mai mult decît pînă atunci; se ajunge la o diminuare a capacității de interconexionare.

Pe de altă parte, o dată cu înaintarea în vîrstă, modificările metabolice ale tuturor țesuturilor inclusiv al celui nervos scad capacitatea de înmagazinare și prelucrare a informației. Celulele care lucrează mai puțin vor suferi o disfuncție metabolică și mai accentuată, vor deveni fragile și vor dispare. Dacă la tinerețe potențialitatea interconectărilor neuronale este imensă, o dată cu trecerea anilor ea scade, iar dacă antrenamentul și solicitarea nu se face intens, volumul celular rămas este și mai puțin eficient. Circuitele cele mai active rămîn acelea care au funcționat continuu de-a lungul existenței individului.

Activitatea mintală nu se poate reduce numai la activitatea specifică sinaptică nervoasă centrală. Nivelul intelectual al unui individ a fost studiat și prin măsurarea potențialelor evocate (fenomene elastice provocate la nivelul unei structuri a sistemului nervos central prin stimularea electrică sau chimică a unei alte structuri nervoase). Apar corelații funcționale care atestă diferențe de „inteligență" între indivizi depinzînd de diferențele de

eficacitate a activității lor nervoase. Psihometricienii sînt mereu în căutarea unor astfel de interrelații.

Inteligența este condiționată, după unii autori, de viteza de percepție și de structura genetică a unor memorii de reținere a unor mici cantități de informație. Un copil capabil să sesizeze rapid informația perceptivă va deveni un adult inteligent, deoarece nu lasă să-i scape nimic din mesajele pe care le primește.

C. Brand conchide astfel că este suficient să se măsoare rapiditatea tratamentului perceptiv al unui subiect pentru a se cunoaște gradul său de inteligență.

Mecanismele intelectuale nu sînt bine cunoscute însă. Testele de inteligență nu sînt decît validări ale clasificării indivizilor în funcție de modelul ales de creatorul testului respectiv. Modelele culturale sau cele de viteză perceptivă nu măsoară totalitatea proceselor mentale, iar QI (coeficientul de inteligență) nu poate fi luat ca un criteriu de inteligență valid.

Metodele care vor reuși să acționeze asupra acizilor nucleici din neuron și a programelor genetice din SNC vor contribui la evidențierea și valorificarea maximă a potențialelor creative ale fiecărui subiect.

Una dintre problemele de mare actualitate a neuropsihiatriei o constituie stresul. În acest context se încearcă cercetarea faptului dacă reactivitatea individuală este determinată genetic sau de mediu.

Stresul reprezintă din punct de vedere biologic o „furtună" hormonală care se traduce printr-o stare de încordare, de anxietate și emoție, putînd conduce la surmenaj, la o teamă continuă de pericol etc.

În cursul evoluției biologice, teama și mînia au contribuit la conservarea speciilor, tensiunea nervoasă în fața diferitelor aspecte din mediu permițînd supraviețuirea și adaptabilitatea.

Dacă în preistoria sa omul era supus la amenințări simple ca: teama de animale sălbatice, războaie intertribale, lipsa hranei și adăpostului, condiții climatice vitrege (glaciațiuni, erupții vulcanice), pe măsura înaintării sale în civilizație, cauzele provocatoare de stres au crescut și s-au înmulțit în permanență.

Reacțiile produse de stres iau naștere în creier, în hipotalamus, în care reacțiile emoționale declanșează o

serie de „pachete" de stimuli nervoși și chimici, care, stimulînd hipofiza, influențează și suprarenalele. Din acest moment furtuna este declanșată.

Organismul se află în stare de alertă, temperatura pielii scade, vasoconstricția duce la o paloare urmată de vasodilatație, care dă o culoare vie a pielii, părul se redresează, etc. Efectele vasculare sînt resimțite la nivelul inimii, care uneori pare că a încetat să bată, ca mai apoi să-și mărească contracțiile; apar palpitațiile, tahicardia. Ritmul respirator, la început sufocant, se accelerează ulterior. Zahărul și grăsimile din organism se mobilizează în sînge. Vezica, intestinul se contractă, aciditatea gastrică crește, efectul secreției crescute ale sucurilor apărînd la mulți indivizi sub forma unor gastrite și ulcere. Jocul secreției adrenalinei și noradrenalinei se impune, zdruncinînd sau distrugînd echilibrul organismului afectat.

Agenții stresanți își adiționează efectele în funcție de specificul mediului de viață, începînd de la cei care creează o amenințare reală dar uneori exagerată pornind de la teama instinctuală a individului căruia îi este amenințat spațiul de viață (vestigii ale instinctului de apărare a teritoriului) și mergînd pînă la urmările negative create de „bolile civilizației": zgomotul, poluarea, incompetența profesională și socială, promiscuitatea urbană etc. Solitudinea într-o masă mare de indivizi, nerealizările în urma eforturilor susținute, lipsa de integrare în mediu, constituie motivații care au apărut mai tîrziu. (Se pare că stresul este mult mai scăzut la țară decît la oraș).

În cursul vieții, unii se adaptează la stres, alții învață să atenueze loviturile stresante, alții recurg la medicamente, alții se dedică unor activități sportive, dar cei mai mulți resimt cantitativ întreagă masă generatoare de stres.

Acest „flagel" existent din timpuri vechi, dar accentuat în zilele noastre, devenit antiteza și prețul calității vieții, contribuie efectiv la creșterea îmbolnăvirilor și la scăderea duratei de viață. Hipertensiunea, infarctul, ateroscleroza și multe maladii cardiovasculare, iar după mulți oncologi chiar cancerul, conțin în etiologia lor componente de acțiune prelungită a unor agenți stresanți.

Factorii socioeconomici prin implicații la nivelul sistemului nervos, prin stress, la care se adaugă agresiunile voluntare ca tutunul, alcoolul, drogurile și erorile alimen-

tare, întreţin şi adîncesc efectele primare ale unor reacţii de alarmă a organismelor.

Studiile de patologie a emoţiilor au adus numeroase dovezi în sprijinul ideii despre marele pericol pe care-l prezintă efectele agresiunilor din mediu. Hipermotorii plătesc un tribut mai greu consecinţelor stresului decît ponderaţii sau cei cu reactivitate controlată. Maladiile psihosomatice cu substrat ecologic sînt astăzi o realitate evidentă. Mai mult, dereglările nervoase, repetate, duc în timp la unele condiţionări caracteriale a unui grup de indivizi, care caută agresiunea, aceasta devenind un *modus vivendi,* în urma căruia au de suferit ceilalţi oameni, semeni ai lor. A apărut astfel un psihism al agresivităţii manifestate de la cele mai fine nuanţe pînă la atitudini ostile şi chiar războinice.

Creierul poate „scăpa" controlul asupra unor modele de comportament normal, lăsînd să se manifeste modelele rezultate din dereglarea echilibrului neuroglandular.

Cele discutate mai sus îndreptăţesc cu pregnanţă ideea unei profilaxii şi igiene mentale din copilărie pînă la bătrîneţe pentru întregul efectiv uman.

Dacă bolile cardiovasculare sau cancerul de pildă afectează anumite proporţii din populaţia activă şi cea vîrstnică, afecţiunile neuropsihice de diferite intesităţi contribuie, într-un procentaj mai mare decît cel admis, la patologia generală. Firește, afecţiunile pot fi privite individualizat sau ca factori adjuvanţi în apariţia altor entităţi nozologice. Un procent destul de mare de tineri este afectat de aceste procese morbide. Dacă adăugăm şi implicaţiile sociale şi medico-sociale ale acestor afecţiuni cu consecinţe adesea atribuite altor factori, putem realiza o imagine mai apropiată a fenomenului.

Misterele creierului şi psihicului uman au incitat dintotdeauna curiozitatea cercetătorilor. Studiile din ultimii ani au marcat progrese nebănuite în cunoaşterea funcţionalităţii cerebrale.

Individualizarea activităţilor specifice fiecărei emisfere cerebrale, găsirea unor metode de cunoaştere a modalităţilor de intervenţie în sensul dorit privind activitatea nervoasă superioară, grefele de material cerebral (pînă la 20% din masa neuronală) precum şi stimularea pe cale hipotalamo-hipofizară (înainte şi imediat după naş-

tere) a capacității volumice și a interconexiunilor encefalice sînt numai cîteva exemple ale imenselor progrese realizate de neurofiziologia ultimilor ani.

Nu putem întreba, firește, cum va evolua creierul în viitor?

Dacă de-a lungul discuțiilor din paginile anterioare am remarcat că progresele tehnologice, pe măsura apariției lor, au influențat dezvoltarea inteligenței și creativității umane în mod lent, în prezent asistăm la o lărgire nemaiîntîlnită a ariei de cunoaștere, a bogăției de informație. Și acest fapt este previzibil să fie și mai important în viitor. Putem să realizăm cu ușurință faptul că solicitarea creierului uman va trebui să țină pasul și să facă față noilor cerințe.

Să ne gîndim că în ultimul secol dezvoltarea cunoașterii a făcut necesară învățarea unor limbi străine, altele decît cele natale, devenite apoi limbi de circulație internațională, datorită necesității accesului la fluxul crescut de informații. În ultimul deceniu, dezvoltarea automaticii și a calculatoarelor impune învățarea unor limbaje de programare necesare dialogului între om și calculator. Secolul următor va fi un secol al dialogului biologico-tehnic. Mintea omenească, adevărata și marea bogăție a lumii, va fi solicitată din ce în ce mai intens.

Creierul este programat genetic și funcțional pentru un mai mare volum de activitate decît cel la care este supus. Geniul creator, care îl caracterizează, va găsi soluțiile necesare evoluției sale în contextul noilor situații, iar evoluția biologică va face restul.

* * *

Evoluția rapidă a științei a realizat în a doua jumătate a secolului al XX-lea trecerea de la aspectul descriptiv static, în care numai funcția comporta aspect dinamic, la unitatea în interdependență cu mediul, la complexul integrativ în continuă interrelație.

În confruntarea sa cu natura, cu mediul înconjurător, omul adresează lumii și primește de la aceasta numeroase mesaje, unele detectabile și cunoscute într-o anumită măsură, altele în curs de descifrare, iar altele, poate cele mai

multe, necunoscute încă. Înțelegerea, în cadrul fenomenologiei evoluției vieții în mediul terestru, implică în mod hotărît recepționarea și înțelegerea schimbului de semnale cu care omul și mediul ambiant comunică. Firește că perfecționarea mesajelor biologice intrinsece depinde de ponderea prelucrării mesajelor provenite din afara organismului viu. Multe dintre aceste probleme etologice sînt nedeterminate, nu au o soluție unică. Astfel, cunoașterea și interpretarea lor este legată de stabilirea unei legături între efectele detectate și cauzele de multe ori ascunse. Dificultatea unor interpretări cît mai apropiate de realitate este alimentată de raportul de discordanță cronologică între momentul observării și studierii fenomenului și cel al producerii lui.

Este greu de conceput și acceptat că toate legile biologice cunoscute sînt urmarea firească a unei evoluții mai mult sau mai puțin schematice, ale unui mesaj genetic continuu, neinfluențat decît nesemnificativ de condițiile de mediu. Dar este mai greu de conceput că odată stabilite aceste echilibre, organismul viu își desfășoară activitatea închistat pentru o anumită perioadă de timp și inert funcțional la variațiile semnalelor din mediu. Această integrare om-mediu, în sensul de emițător-receptor, a fost un aspect oarecum neglijat în studiul biosistemelor, în care s-a dat o mai mare atenție interrelațiilor între buna desfășurare a condițiilor vieții, în condițiile unui mediu natural variabil, prietenos sau nu.

Existența unor orologii biologice cunoscute de puțin timp, dar existente a priori, este un exemplu care subliniază existența unor mecanisme de interrelație ființă-spațiu-timp, legate mai puțin de fiziologia și metabolismul brut și mai mult de complexul relațiilor externe al vieţuitoarelor. Foamea de informații din oricare sistem cibernetic, nevoia de comunicare la distanță se materializează diferit în lumea vie, dar este imperios necesară dinamicii vieții și evoluției.

În cadrul conceptelor economice se adoptă și mai greu o inovație, un nou mod de gîndire, aceasta depinzînd de procedeele și tehnologiile deja rodate și folosite.

Studiile asupra propagării noului fac în prezent obiectul preocupărilor sociologilor, filozofilor, antropologilor, psihologilor, economiștilor, politologilor, experţilor în do-

meniul comunicațiilor, manegementului, marketingului și know-how-ului.

Orientările de prognoză s-au îndreptat spre mijloacele și metodele producătoare de bunuri de consum.

Așa cum relatează R. Musil, într-o lucrare a sa, „principala preocupare a societății actuale este producția de hrană, îmbrăcăminte, protecție, ordine, a așa-numitului spirit al nevoii elementare". El consideră că principalul ar trebui să fie producția de bunuri spirituale, omul rămînînd în cursul evoluției sale, „animalul primejduit și care se primejduiește pe sine însuși".

Profesiune de credință și sursă de speranță pentru cei mai mulți, iar pentru alții — cauză a erorilor și baza generării pericolelor, știința modernă oscilează între scientiolatrie și scentiofobie. Certitudinile alternează cu îndoielile și întrebările generatoare de răspunsuri dubioase. Este știința actuală un prieten sau un dușman? Fără îndoială, știința și tehnologia sînt mai mult decît „un rău necesar", ele constituie speranța de supraviețuire a omului în oceanul său planetar, constituie siguranța asigurării materiale în mediul înconjurător, mediu în care problema resurselor se pune tot mai des. Dacă, cu puțin timp în urmă, ființa umană s-a luptat să cucerească, să învingă natura, în prezent trebuie s-o ajute să se refacă, să trăiască în armonie și pace cu ea, aceasta fiind singura cale de asigurare a continuității vieții în sistemul nostru solar.

Omul, din ce în ce mai puternic condiționat tehnologic, acumulează, în același timp, o senzație de frică față de umbra sa proiectată pe fundalul civilizației și de dimensiunile sale reale în contextul universului.

Noile concepții ale fizicii, ale astrofizicii, în general ale cosmologiei, împreună cu o dezvoltare fără precedent a industriilor nucleare cu marea amenințare care o însoțesc, au creat o stare de angoasă privind destinul lui imediat și i-au crescut interesul asupra cunoașterii forței sale postume.

Aceasta constituie probabil una din motivațiile imensului progres pe care l-a înregistrat cercetarea biologică: noile tehnologii din ingineria genetică, din chirurgia genetică, studiul dereglărilor ecologice, interesul pentru ocrotirea naturii și a mediului, grija pentru asigurarea alimentației, pentru noi surse de energie și materii prime.

Omul trebuie să se comporte din ce în ce mai raţional faţă de tot ce-l înconjoară. În cronologia gîndirii şi creativităţii revoluţia ştiinţifică, precedată de cea artistic-culturală, este urmată de revoluţia tehnică şi pregăteşte pe cea biologică. Este ceea ce unii gînditori din sociologia modernă numesc schimbul de lideri. Locul ocupat în secolul al XVIII-lea de mecanică, în secolul al XIX-lea şi sec. al XX-lea (în prima jumătate) de fizică este pregătit în prezent pentru biologie. Se conturează ca lider un complex interdisciplinar „biologie-cibernetică-informatică" o nouă ştiinţă a sistemelor din care emerge biotehnologia pentru ca, în jurul anului 2000, ştiinţele vieţii, în mod unitar, să constituie preocuparea dominantă. Pentru sfîrşitul primului secol al mileniului al III-lea se prevede o largă dezvoltare a ştiinţelor creierului şi psihologiei aplicate.

În lumîna actualei acceleraţii ştiinţifico-tehnice, ştiinţa va deveni globală şi unitară în viitorii 200 ani şi va beneficia de ajutorul dezvoltării fără precedent a inteligenţei artificiale. Inteligenţa umană însăşi va cunoaşte o dezvoltare semnificativă — prin condiţionarea hormonală — prin mărirea volumului şi capacităţii cerebrale, a măririi numărului de interconexiuni neuronale. Omul ieşit din criza de timp va cunoaşte un avînt spiritual, cultural, interuman pe care în prezent imaginaţia noastră cu greu îl poate cuprinde.

Consideraţia cea mai pertinentă este aprecierea factorului uman în dezvoltarea armonioasă a condiţionării vieţii de către tehnologia modernă. Sporirea competenţelor este un factor decisiv în aprecierea influenţei pozitive sau negative, a efectelor reale sau scontate ale proceselor noi tehnologice asupra vieţii în general şi asupra celei umane, în special.

Calitatea omului, participant la revoluţia tehnico-ştiinţifică continuă, are profunde implicaţii asupra felului în care va arăta societatea viitorului. Secolul următor, bazat pe un schimb de tehnologii şi de informaţii cu caracter vital, va antrena un mare procent din populaţia activă la această imensă sarcină. Multe echilibre fragile vor fi zdruncinate de proliferarea unor soluţii tehnico-ştiinţifice la nivelul întregului glob. Spiritul unei epoci noi se va impune rapid la nivelul planetei şi numai înţelepciunea umană va putea cataliza într-un sens pozitiv uriaşele energii

informaționale, care vor inunda lumea mileniului următor. Pentru toate acestea este nevoie de calm, chibzuință și dragoste între oameni.

În finalul acestei lecturi să încercăm să reflectăm cîteva clipe asupra acelor fapte care ne-au atras mai mult în lumea intersecțiilor dintre fenomenele care ne caracterizează existența.

Cele prezentate pînă aici au încercat să fie o invitație la vizionarea mentală a unui scenariu privind impactul dintre științele care studiază viața și tehnicile care le ajută.

Vom fi mulțumiți dacă speranța de a fi înfățișat util cîteva din aspectele acestor numeroase probleme s-a realizat.

Tot ce s-a relatat în cuprinsul cărții a urmărit o singură concluzie: să învățăm să prețuim mai mult viața.

BIBLIOGRAFIE

Bălăceanu C., Dobre M., Mănoiu A.: *Scăderea fiabilității rețelelor neuronale și îmbătrînirea psihologică*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 5, 1978, pp. 45—61.

Brown J. H. V., James F. Dickson: *Advances in Biomedical Engineering*, Academic Press, 1976, vol. 6.

Cajal N., Cristea Al., Copelovici J.: *Încercări de aplicare a modelării matematice în virusologie*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 7, 1979, pp. 10—18.

Cocoru D.: *20 de științe ale secolului XX*, Edit. Albatros, 1980.

Dragomirescu L.: *Implementarea informaticii — o problemă de ecologie culturală*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 14, 1982, pp. 137—161.

Emerit Ingrid: *Chromosome breakage factors: Origin and possible significance*, „Progress in Mutation Research", vol. 4, 1982, Elsever Biomedical Press, pp. 61—72.

Milcu Șt. M., Nicu M. D., Oprița N.: *Man-machine liaison optimisation, main factor to prevent work accidents*, Congr. Mondial pentru prevenirea accidentelor de muncă și a bolilor profesionale, București 17—21 mai, 1977.

Moraru H., Nicu M. D.: *Modelarea în studiul unor factori de creștere a nervilor*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 5, 1978, pp. 245—254.

Nicolau Edm.: *Prelucrarea semnalelor în sistemul nervos*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 5, 1978, pp. 34—44.

Nicolau Edm.: *Modele cibernetice în teoria personalității*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 5, 1979, pp. 65—75.

Nicu M. D.: *Modele cibernetice în radiobiologie*, Simpozionul Cibernetica în medicină și biologie, Academia R.S.R., 1970.

Nicu M. D.: *Biotehnologia — prezent și viitor*, „Caiete de studii și dezbateri", iunie 1974, Edit. Academiei R.S.R.

Nicu M. D.: *Perspective în cercetările moderne de radiobiologie și bionică*, vol. *Revoluția tehnico-științifică, Studii și comunicări*, Edit. Academiei R.S.R., 1974.

Nicu M. D.: *Bioingineria, domeniu de cooperare multidisciplinară*, „Studii și cercetări de biotehnologie" nr. 1, 1975, pp. 14—18.

Nicu M. D.: *Biotehnologia, la granița între tehnologie și biologie*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 1, 1975.

Nicu M. D.: *Biotehnologia în optimizarea mediului ambiant*, „Ocrotirea naturii și a mediului înconjurător", Edit. Academiei, nr. 1, 1975, p. 19.

Nicu M. D. Opriță N.: *Biotehnologia*, Edit. didactică și pedagogică, 1979.

Nicu M. D.: *Conceptul sistemic în dinamica biomedicală și biotehnologică* „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 10, pp. 3—16.

Nicu M. D.: *Roumanian Concept of Biotechnology*, „Al 16-lea Congres Internațional de Istoria Științei", 31 aug. 1981, București.

Nicu M. D., *Direcții de dezvoltare în biotehnologia următoarelor decenii*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 11, 1980.

Nicu M. D.: *Unele aspecte biotehnologice în studiul patologiei moleculare*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 2—3, 1977, pp. 30—49.

Niculescu Mizil E.: *Implicații tehnice, tehnologice și sociale ale bioingineriei*, Edit. științifică și enciclopedică, București, 1982.

Perkins W. J.: *Biomedical Computing* Univ. Park. Press, 1980, p. 238.

Restian A.: *Influența redundanței asupra organismului uman*, „Studii și cercetări de biotehnologie", nr. 10, 1980, p. 41.

Rutstein D. David, Murray Eden: *Engineering and Living Systems-Interfaces and Opportunities*, Massachusetts, Institute of Technology, 1970.

Scheurer P.: *Révolutions de la science et permanence du réal*, Ed. PUF, Paris, 1979, p. 366.

Simonnet G., Oria M.: *Des mesures de radioactivité à l'aide des comteurs a scintillateur liquide*, Ed. Eyrolles, Paris, 1980.

Simonnet Françoise, Simonnet G. et all.: *Flow Measurement of Blood Radioactivity in Animals*, „Journ. of Pharmacol. Methods", 7, pp. 65—74, 1982.

Terry-Bahil A.: *Bioengineering, Biomedical, Medical and Clinical Engineering*, Science-Holl, England Clopp, New Jersey, 1981.

Voinea P. R., Nicu M. D.: *Contribuţii româneşti în bioinginerie şi biotehnologie*, „Studii şi cercetări de biotehnologie", nr. 6, 1979, pp. 205—217.

Zugrăvescu D., Opriţa N., Nicu M. D.: *Sensibilitatea sistemelor vii la modificări ale ambianţei. Explicaţii posibile*, „Studii şi cercetări de biotehnologie", nr. 14, 1982, pp. 50—60.

CUPRINS

Prefață 5

ȘTIINȚELE VIEȚII LA GRANIȚA CU TEHNICA ȘI TEHNOLOGIA 7

BIOTEHNOLOGIA — CONCEPT SINTETIC AL BIOȘTIINȚELOR ȘI TEHNOLOGIEI 20
— Prezent și viitor în microbiologia industrială 29
— Interacțiunea dintre medicină și inginerie 37
— O datorie și o dilemă pentru cercetători: Evaluarea consecințelor dezvoltării bioingineriei și biotehnologiei . . . 66

MODELAREA ÎN BIOMEDICINĂ 74
— Recunoașterea de forme — domeniu de viitor . . . 101

METABOLISMUL, TERMODINAMICA BIOLOGICĂ ȘI EREDITATEA — COMPONENTE INTERACTIVE . . . ÎN CERCETAREA BIOTEHNICĂ 117

BIORITMURILE ÎN UNIVERSUL BIOLOGIC 151

ECOLOGIA — DOMENIU DE VÎRF AL CERCETĂRII BIOTEHNOLOGICE 161
— Ce este bioarhitectura? 177

EVOLUȚIA CREIERULUI UMAN ÎN FUNCȚIE DE PERFECȚIONAREA TEHNOLOGIEI 180

Bibliografie 196
Cuprins 199

Lector: OLGA SILVIA TURBATU
Tehnoredactor: MARIANA ȘTEFAN

Bun de tipar: 28. IX. 1984. Apărut: 1984.
Comanda nr. 2240. Coli de tipar: 12,5.

Tiparul executat sub comanda nr. 273,
la Întreprinderea Poligrafică „Crișana", Oradea,
str. Moscovei nr. 5.

... biomedicina şi bioingineria, metabolismele, bioritmurile umane, ecologia şi arhitectura în relaţie de interconexiune, biologia şi tehnologia sînt doar cîteva din incitantele probleme ale ştiinţelor vieţii descoperite sau ... redescoperite prin prisma unei noi discipline a cunoaşterii umane — BIOTEHNOLOGIA.

Ce este biotehnologia, care sînt realizările, dar mai ales ce perspective i se întrevăd — iată numai unele dintre întrebările la care volumul de faţă încearcă să răspundă, constituindu-se astfel într-o iniţiere într-unul dintre cele mai fascinante şi mai moderne domenii ale întrepătrunderii ştiinţelor biologice cu tehnica şi tehnologia.

Lei 11